

高等学校交流讲义

# 电热及电焊

东北工学院电力拖动教研室编

只限学校内部使用



中国工业出版社

高等学校交流讲义



# 电热及电焊

东北工学院电力拖动教研室編

中国工业出版社

本书是根据1959年全国修订工业企业电气化专业“电热及电焊”课程教学大纲的基本要求，在东北工学院已有讲义的基础上编写的。全书共分六章，内容包括：电阻炉、感应加热与介质加热、电炉、电弧焊、接触焊和电渣焊等。

本书对电热及电焊的基本理论和设备应用作了简要阐述，对电焊方面的新技术——电渣焊也作了介绍。

## 电热及电焊

东北工学院电力拖动教研室编

\*

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

化工印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店经售

\*

开本787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·印张8<sup>7</sup>/<sub>8</sub>·字数201,000

1961年9月北京第一版·1961年9月北京第一次印刷

印数0001—1,537·定价(10—6)1.10元

统一书号：15165·992(水电-153)

# 目 录

緒 論	.....	4
第一章 電阻爐	.....	7
第1节 电炉类型的綜述	.....	7
第2节 加热器的材料与結構	.....	14
第3节 加热器的計算	.....	17
第4节 炉温的測量仪器和自动調节	.....	23
第二章 感應加熱與介質加熱	.....	34
第1节 鉄心感应加热	.....	34
第2节 无鉄心感应加热	.....	38
第3节 介質加热	.....	58
第4节 高频电源	.....	59
第三章 電弧爐	.....	74
第1节 电弧炉的分类与应用范围	.....	74
第2节 电弧炉炼鋼的工藝过程及其构造	.....	75
第3节 炼鋼电弧炉最佳电工作制度	.....	81
第4节 炼鋼电弧炉的自动調节	.....	84
第5节 炼鋼电弧炉的电气设备	.....	93
第6节 間接作用电弧炉	.....	96
第7节 电阻电弧炉	.....	98
第四章 電弧焊	.....	101
第1节 概述	.....	101
第2节 焊接电弧	.....	102
第3节 焊接电极	.....	104
第4节 焊接规范的选择	.....	104
第5节 对焊接电源設備的要求	.....	105
第6节 直流焊接发电机	.....	107
第7节 交流焊接变压器	.....	111
第8节 多站焊	.....	112
第9节 几种特殊的焊接方法	.....	113
第10节 自动电弧焊	.....	114
第五章 接觸電焊	.....	117
第1节 概論	.....	117
第2节 接触电焊变压器及焊接机械的电参数	.....	122
第3节 接触焊机的电設備	.....	125
第六章 電渣焊	.....	131
第1节 电渣焊分类簡述	.....	131
第2节 电渣焊接的应用范围及工藝规范	.....	132
第3节 电渣焊接設備	.....	133
第4节 电渣焊所用电源与自动調节	.....	134

## 緒 論

在国民經济的各个部門中广泛采用新技术，从而提高劳动生产率，改善产品质量，并使生产过程机械化和自动化，乃是国民經济不断增长和人民物質生活水平不断提高的重要保証。

将电能直接应用于生产工艺的所謂电工艺是一种新技术。它是近代工业中生产工艺的一个重大革新。同时也是近代电气化事业的一项重要成就，因而在国民經济的发展中具有重大的意义。目前在工业中应用的电工艺，包括各种电热及电焊方法，以及各种电化学加工和电腐蝕加工方法。其中尤其是电热及电焊方法，已經应用得非常广泛。

目前在苏联，电热及电焊等电工艺已經得到广泛的发展。据統計，苏联目前电热的用电量已达全部工业用电的15%，而电焊則已經大部分代替了其它的焊接方法，而占各种焊接的80%。此外，許多新的电工艺还正在不断研究和出現，例如电渣焊、紅外線加热和各种新型加热和焊接装置等。

解放前我国由于受到帝国主义的压迫和反动派的統治，工业非常落后。在1923年才建立了第一座炼鋼电弧炉。而在解放后，在党的正确领导下，电热及电焊这一新技术在各个工业部門中的应用已經取得了很大的发展。例如以电炉为主要生产设备的优質鋼厂已經不止一个地建立起来。汽車拖拉机制造厂已經广泛地采用各种先进的电热与电焊等工艺，在某些軋鋼厂和热处理車間中，高频电热已經在广泛应用。特别是1958年大跃进以来，全国人民在总路綫、大跃进、人民公社三面紅旗的光輝照耀下，发扬敢想、敢干与实事求是的精神，我国已經能够自己制造大型的电热与电焊设备。

我国在电热利用方面，解放后也得到了迅速发展。在1955年建立的某个工厂里，电热设备容量，約占工厂总设备容量的30%。电热用电量占工厂总用电量的40%以上。

为了了解电热及电焊等电工艺在国民經济中所起的作用，下面将扼要地介紹一下它們的应用范围和在技术上的优点。

炼制优質鋼是应用电热的一个重要工业部門，因为炼制优質鋼不仅需要普通的碳鋼中加入合金，而且还必須比較彻底地清除鋼中的硫磷等有害杂质。而这样的冶炼要求只有在电弧炉的高温和少氧气氛的条件下才能滿足。此外，炼制合金鋼的铁合金，由于熔点很高，其中大部分也是只能在大型的电炉中炼制。

近年来电热方法已开始渗入到有色冶金部門，而日益广泛地应用于鎳、鈷、銅、鋅、錫和鉛的生产。特别是在稀有金属和鈦的生产方面，电热更具有非常重大的意义。

在金属的热处理中应用电热方法，能保証金属制件加热极为均匀，加热温度极为准确。此外，电炉还容易做成密閉的而在其中保持所需的气氛或真空，借助于电热方法还可以对制件的某一部分或表面进行局部加热。因此，在机械制造以及黑色、有色和輕金属冶金中，出現了愈来愈多的供各种结构或制件进行热处理用的电炉和感应加热装置。而在近来，由于电炉温度范围的上限有所提高，电炉也用来在进行鍛造、冲压或其它塑性变形时加热毛坯用。

在机械制造业中，特别是在汽車和拖拉机制造业中，形状复杂而壁薄的鑄鋼件和有色金属鑄件，得到了很大的发展。这种鑄件需要机械加工极少。因而它常比用其它方法所获

得的制件成本低廉。但是，为了使金属液体很好地注滿于鑄模中，金属液体的流动性必需良好，也就是說必需有足够的过热。这一要求对于电炉來說，比在小型平炉中容易滿足。因此，鑄造異型鋼件和有色金属制件，也是一种以电炉作为主要生产工具的工业部門。

此外，如金刚砂、人造刚玉、石黑、碳化鈣、紅磷和磷酸等，也必須在电炉的高温下制得。而近年来，在高频电場內加热非导体(陶瓷、塑料、食品)，以及干燥木材、毛織品、鑄模和油漆涂料等，也得到了很大的发展。因此，电热的应用已經不再局限于重工业部門。

上面所列举的电热应用范围表明，电热在国民經济中已經发展到如何广泛的程度，电热之所以得到如此广泛的发展，乃是由于它与燃料炉相比，具有下列一些重大优点：

1. 有可能在极小的范围内集中产生大量热能(电弧、感应加热、直接加热)，因而可以获得很快的加热速度和必須的温度；
2. 可以在加热室的四壁适当地安置热源，或采用强制对流的方法，以保証制件加热的高温均匀；
3. 容易調节輸入炉內的功率，因而也就易于調节温度。容易使炉子加热制度的調节自动化；
4. 便于使被热物的装卸和在炉內的移动机械化和自动化。而这将为电热用于流水作业的生产中、用于自动綫中，創造了极为有利的条件。
5. 电炉易于密封，因而有可能借助于保护气氛和真空，保护被热物免于氧化；或者是相反地，将其置于某种特殊气氛中，进行表面渗碳、渗氮等；
6. 紧凑、洁淨、便于维护，劳动条件得到了改善。

应用最广的焊接方法是电弧焊。这种焊接方法多用于机械制造业和建筑工程中，焊接各种各样的制件和金属結構。此外，它还常作修理之用。

在近代的汽車拖拉机制造工业和飞机制造工业中，大量地使用着电阻焊。这一点可以从以下的有趣的統計数字中得到說明：ЗИМ 牌汽車上約有 10,000 个焊点，而在某种飞机上焊点数竟达 250,000 个之多。

1955 年苏联乌克兰科学院电焊研究所又研究成功一种新型的电渣焊接方法。这种焊接方法成功的解决了焊接碩厚焊件的困难，使焊接技术获得了进一步发展，1958 年以来我国广泛地推广这一新技术，并取得了显著成就。

电焊与其它焊接相比，具有以下优点：

1. 温度高，热量集中，因而生产率高；
2. 焊接質量好，强度高；
3. 設備简单，工作安全，易于自动化；
4. 焊接方法多种多样，可以在各种不同的情况下进行焊接（甚至于可以在水中焊接）和焊接不同材質的焊件。

电化学加工与电腐蝕加工是一种最近才发展起来的新技术，采用这种加工方法可以使过去不能加工或加工困难的材質（例如硬質合金鋼）得以加工，可以使生产率提高，使产品的質量改善。

本課程将只着重討論目前在工业中已經广泛应用的电热、电焊及其設備，至于电腐蝕加工与电火花加工限于篇幅，不做介紹。

現在我們对电热及电焊分类如下：

## 一、电 热

### 1. 电阻加热

(1) 間接加热：使电流通过炉內的加热器（或盐液）产生热量，利用传热方式（辐射、对流及传导）将热量送至被热物，主要供加热和干燥用。

(2) 直接加热：使电流通过被热物本身而加热，主要供形状規則的制件或毛坯加热用。

### 2. 感应加热

(1) 鉄心感应加热：利用变压器的原理，将被热物当做变压器的付繞組而进行加热，多用来熔炼有色金属。

(2) 无鉄心感应加热：利用在被热物內所感生的涡流进行加热，可供金属制件的热处理，金属毛坯的鍛造和冲压以及熔炼金属用。

### 3. 介質加热

被热物被放在高频交变电場中，因介質損失而加热，可供电介質或半导体的加热和干燥用。

### 4. 电弧炉

(1) 間接作用电弧炉：电弧燃烧于电极与电极之間，主要供有色金属熔炼用。

(2) 直接作用电弧炉：电弧燃烧于电极与炉料之間，主要供優質鋼熔炼用。

(3) 电阻电弧炉：电极被埋在炉料內，热量既能在电极之下的电弧中产生，也能在炉料內由于电阻发热而产生。主要供鉄合金冶炼用。

## 二、电 焊

(1) 电弧焊：利用电弧的热量进行焊接，其种类很多，如有色金属电极弧焊和炭极弧焊、交流焊和直流焊、手工焊和自动焊等。其应用范围极广，特别是在机械制造，建筑工程和造船工业中应用最多。

(2) 电阻焊：利用电流通过焊件及其接触部分所产生的热量而焊接，主要分对接焊、点焊和滚焊三种，多用于汽車和飞机制造业中。近年来研究成功的电渣焊实际上也属于电阻焊中的一种，它是利用电流通过溶渣所产生的热量进行焊接的，适用于焊接碩大的制件。

# 第一章 电阻炉

## 第1节 电爐类型的綜述

轉換電能的电阻爐在許多工業部門中得到廣泛應用，因為在熱處理產品生產過程中需要一次或數次加热的工序非常多，而產品質量往往受到熱處理好壞的影響，如鋼鐵的淬火、回火、退火、正火、滲碳和滲氮等加热的工序，都要求熱處理均勻而又有所需要的溫度，這在電爐中能得到滿意的解決。

電爐作用原理比較簡單，就是電流通過特殊的加熱器，按楞次—焦耳定律在元件中發出熱量，

$$Q = 0.24 I^2 R t \text{ 卡,}$$

式中  $I$ ——加熱器中的電流，安；

$R$ ——加熱器電阻，歐；

$t$ ——電流通過加熱器時間，秒。

加熱器由於放出熱量而提高爐膛溫度，因而就把加熱物加熱至所需要的溫度。

在緒論中已經提及，电阻爐可以分為間接加熱的和直接加熱的兩種。間接加熱爐占電爐中的絕大多數，並且主要供制件或物料的加熱用。而直接加熱爐只有很少的幾種，且其應用範圍很有限。間接加熱爐按其溫度的高低又可分為高溫爐和低溫爐，按用途的不同又可分為加熱爐和熔煉爐，按工作方式的不同又可分為周期工作爐和連續工作爐，等等。一般認為按溫度高低來分類是比較好的，因為這種分類法將兼有傳熱上結構上和用途上的區別。

下面我們將對各種類型爐子做簡要的敘述。

### 1. 高溫电阻爐

凡溫度高於 $600-700^{\circ}\text{C}$ 而以輻射傳熱為主的爐子，一般稱為高溫爐。這種爐子的應用範圍很廣，種類極其繁多。按照工作方式的不同，它們可以分為周期工作的和連續工作的兩種。

周期工作爐適用於生產率不高的場合，其最常見者為箱式爐和豎井式爐兩種。

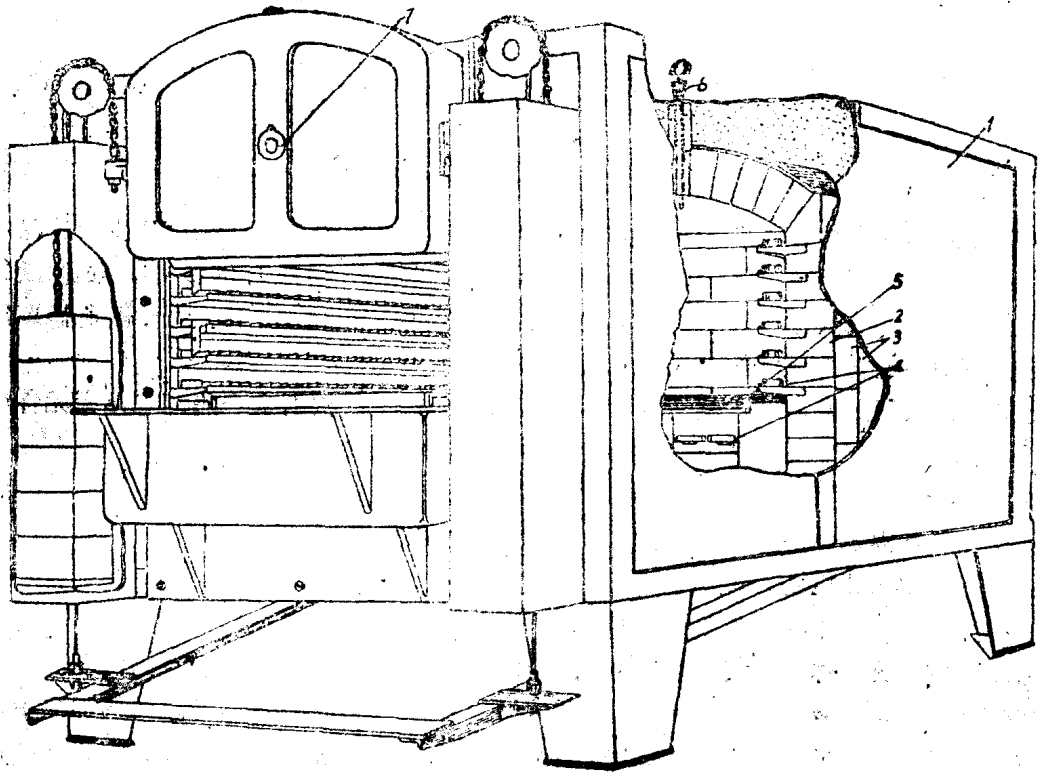
#### 1) 箱式电阻爐

箱式爐是一種最簡單而又通用的爐子（圖1-1）它具有一由耐火材料和絕熱材料所構成的矩形加熱室，外部被一金屬外殼所包圍。爐子的裝料和卸料，系通過前牆上的爐門來進行。小型爐為了便於裝料起見，裝有爐腳，大型爐則直接安置在地上，爐子的加熱器被安置在爐底和側牆上，有時也安置在爐頂上。對於大爐子，加熱器還安置在爐子的後牆和爐門上，用以保證加熱室中的溫度分布均勻。用爐底加熱器的上面通常蓋有耐熱板，被熱物即放於其上。

對於大型制件的退火或其它熱處理，當用人工向爐內裝料不便時，可使用爐底移動的箱式爐。

箱式爐的空載損耗一般比較大，約為其額定功率的25—40%。現在我國生產的箱式电阻爐構造形式很多有下列幾種。





箱式炉 H型

图 1-1 箱式电阻炉

1—金属外壳；2—耐火粘土砖；3—隔热材料；4—电热器；5—炉底耐热板；  
6—热电偶；7—观察孔。

110型（仿苏Г型箱式），112型（仿苏H型），仿苏H—100型及仿德DKO型。上述各种箱式炉除仿德DKO型外，均存在一系列的缺点。例如温升慢，生产率低，炉膛温度不均匀，炉内不适宜通保护气体以及小容量电炉之间的功率差距太大，大容量功率差距太小等等，为了克服上述缺点某电炉工厂设计了新系列产品，共采用七种基本型号，功率从8—90瓩。现将三种有代表性新型号介绍如下：

112A—20—40型，112A—40—80，112A—65—130型箱式电阻炉。

## 2) 竖井式电阻炉

另一种常用的周期工作炉是竖井式炉，它可以作成圆形、方形或矩形的竖井形状，其上端开启而配有炉盖（图1—2）。在竖井式炉中，加热器通常被安置在侧墙上。有时，在供加热空心的筒形被热物（成卷的线材或铁皮）的圆形炉中，除炉墙上安置加热器外，沿着炉子的中心线还垂放一中心加热器，为了进行轴或管子的热处理，竖井式炉有时做得很深（深达10米以上），并且具有数个加热区域，以保证沿着其高度加热均匀。

竖井式炉不如箱式炉通用，但在某些情况下却有着重大优点。例如，当被热物很沉重时，使用竖井式炉可以很方便地利用车间内的普通桥式起重机（也可以利用电葫芦或滑车）来进行装料和卸料。此外，这种炉子占地面积较小，加热细长制件不致变形，并且易于密封，也都是优点。

竖井式炉由于炉盖易于密封，故空载损耗较小，一般约为其额定功率的15—25%。

上述箱式炉和竖井式炉的工作温度视所使用的加热器材料而定。当使用金属加热器时，炉温一般不超过 950°C。当使用金鋼砂制成的加热器时，炉温可达 1350°C。

对于使用金鋼砂加热器的炉子应该备有调压变压器，其电压调节范围为 2:1，因为金鋼砂加热器电阻在加热过程中变化很大，为了维持炉子原有功率就需要不断提高炉子供电电压。同时又由于加热器的老化程度各有不同，因此不应该串联连接，而采用并联连接较为合适。

现我国生产竖井式电阻炉型号有 141 型竖井式电阻炉（仿苏 III 型），142 型竖井式气体渗碳电阻炉（仿苏 II 型）和 143 型（仿苏 I II 型）竖井式回火电阻炉。

### 3) 钟罩式电阻炉

除箱式炉和竖井式以外，应用较广的还有罩钟式炉。这种炉子的特点是：炉底固定不动，而加热室却是可以移动的，在加热室下往往还有一耐热茂福罩，被热物即置于其中而被加热。这种炉子适于金属制件退火之用，因为在制件需要冷却时，可以将加热室取走，使制件留在茂福罩内，从而避免了积存于加热室炉砌中的热量损失。

在生产率很高和热处理工艺过程已确定的情况下，最好采用连续工作炉，其特点是制件由炉子一端输入，然后沿着炉身移动逐渐被加热，最后由炉子另一端卸出。连续工作炉根据工艺要求不同而制成各种不同类型的炉子，其区别主要在于炉子使用移动被热物的机构不同。最常见有下列几种：

### 4) 运输带式炉 (图 1-3)

最简单的一种连续工作炉是运输带式炉 (图 1-3)。在此炉中采用一拉紧于两轴之间的循环带来代替炉底。两根轴中有一根是主导的，由一专用电动机带动。运输带则是

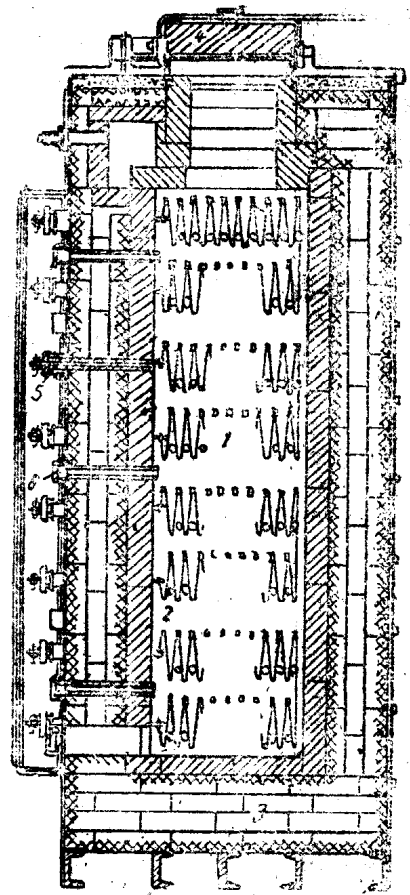


图 1-2

1—加热器；2—耐火炉砌；3—绝热材料；4—炉盖；5—加热炉出綫；6—热电偶。

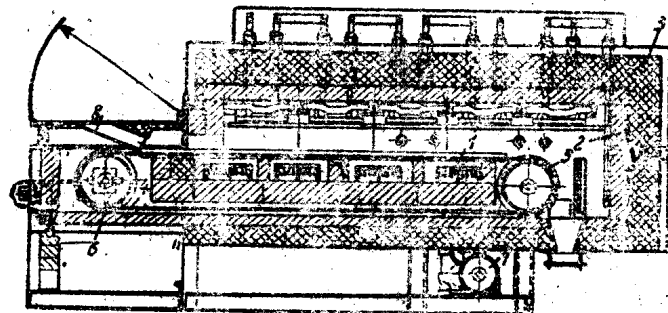


图 1-3 运输带式电阻炉

1—电热器；2—耐火砖；3—隔热材料；4—运输带；5—驱动轴；6—拉紧固定物；7—传动机构；8—装料口。

用镍铬丝网，铜板或链环所构成。被热物置于运输带上，被运输带从炉子的装料端带至卸料端，加热便算完毕。如果将运输带及其两轴整个安置在炉子的加热室内，则运输带轴的工作条件将为沉重。因此，运输带的下部及其两轴，常被移至炉衬之外，然而在此情况下热量损失将很大，在运输带式炉中，加热器大部分安置在炉顶和炉底上，安置在侧墙上的情况比较少。运输带式炉只能供在 $900^{\circ}\text{C}$ 以下加热小型制件用，因为在较高的温度下，运输带的工作将不可靠。

### 5) 冲送式连续工作炉

另一种称作冲送式炉的连续工作炉应用范围则比较广。它可以工作于较高的温度下

( $1000^{\circ}\text{C}$ 或更高)，可以制成加热小型制件的，也可以制成加热大型制件的。在此类炉中，炉底上安放有耐热导轨，导轨上放有铸造或焊接的盛料器。盛料器内装有被热物，被电动的或液压传动的冲送器推动而沿着炉身移动。盛料器在炉内导轨上一个紧靠着一个安置，因此，当冲送器自装料台向炉内推入一等在入口处的盛料器时，所有其它盛料器都将随之而移动。最末端的盛料器或是沿着倾斜的导轨滑出，或是被一特殊的攫取器抓住而取出炉外，冲送式炉的优点是结构简单和没有复杂的耐热部件。其主要缺点是需用盛料器，因为每次加热盛

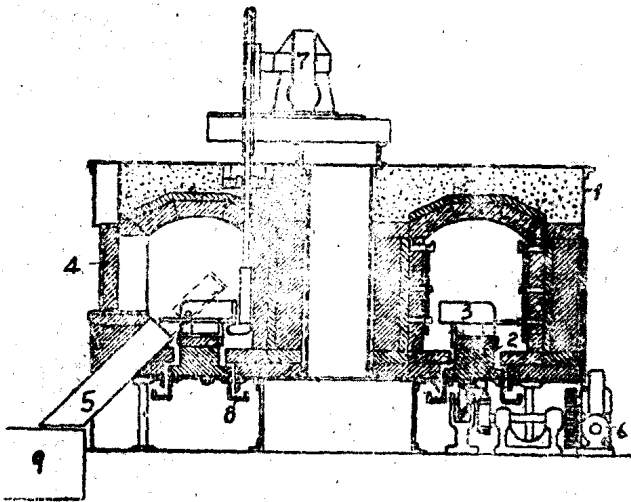


图 1—4 旋转炉床式连续工作炉

1—固定的炉墙和炉顶；2—圆环形旋转炉床；3—卸料盘；4—装卸料的炉门；5—卸料入淬池的槽；6—旋转炉床的电动机及齿轮组合；7—卸料用电动机；8—沙封函；9—淬池。

料器需消耗很多热量，并且盛料器的寿命也很短。应该指出，冲送式炉也有制成不盛料器的，但是这只有在炉温不高和被热物的形状规则的情况下才有可能。

6) 旋转炉床式连续工作炉。其结构就好像是一弯成环形的运输带式炉。这种炉子的炉墙和炉顶是固定不动的，但炉底却可围绕其垂直中心线旋转。被热物系经炉外侧墙上的炉门装至炉内的旋转炉底上，在炉内旋转一圈后，从位于装料门旁的出料门取出炉外（图 1—4）。旋转炉床式炉的优点是，在炉内几乎完全没有耐热部件，因为传动机构的各个部分都被置于高温区域之外。因此，这种炉子的工作温度可达 $1200^{\circ}\text{C}$ 。其主要缺点是，炉子的形状使其不便于安置在流水作业线中，同时由于装料口和出料口靠在一起，装料和出料难于机械化。

除上述三种连续工作炉外，还有所谓转鼓式炉（供加热不怕碰撞的小型制件用）、步进式炉（供加热大型毛坯或制件用）、振动炉底式炉和转鼓式炉（供加热单一的小型制件用）、滚柱炉底式炉（供加热板材或大型的扁平形状制件用）以及抽拉式炉（供加热线材用）。由于篇幅的限制，此处将不能一一介绍。

### 2. 低温电阻炉

凡温度低于 $600-700^{\circ}\text{C}$ 而以对流传热为主的炉子，一般称为低温炉。这种炉子主要是

供干燥、鋼件回火以及輕金属和有色金属的热处理用。在結構上，低温炉也可以分为周期工作炉和連續工作炉两种。此外，它还可以分为自然对流炉和强制对流炉两类。

最简单的是周期工作的自然对流炉。它具有某种形状的柜形或箱形結構。在这种炉子里，制件被放在架子上，加热器则装在炉底和炉墙上(图 1—5)。加热器有时被屏蔽起来，

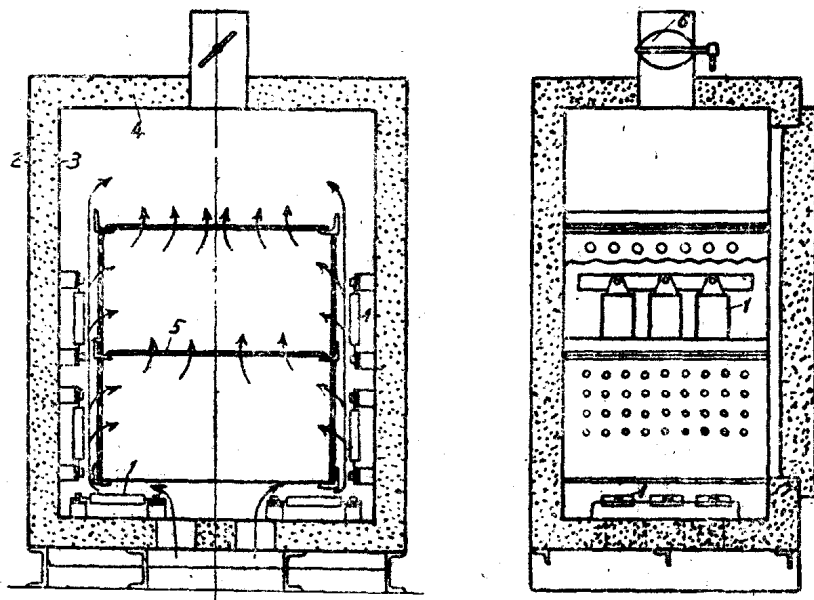


图 1—5 自然对流炉

1—发热原件；2—外壳；3—内壳；4—隔热材料；5—被热物放置台；6—调整空气活瓣。

以免制件受到直接的辐射加热。这末一来，由加热器向制件的传热，主要便是靠自然对流。如果对制件不仅是要求加热，而且还要求干燥，则在干燥箱的底部和頂部应設置通风孔，借以在炉中形成通风气流，将被热物中的水分或油烟带出。这种炉子的生产率很低，工作温度一般不超过 $200-300^{\circ}\text{C}$ 。

在需要生产率和工作温度較高的情况下，应该使用强制对流的炉子。为此，炉子就必须附設一通风机，强迫炉内的热气流以較高的速度流动，以提高对流給热系数。通常，为了使炉内的加热气流温度均匀，加热器常被取出炉外，而被单独放在一个被称为“空气加热器”的小室中。加热时通风机驅使空气流经“空气加热器”，然后将加热了的空气沿着几个风道送入炉中(图 1—6)。

低温連續工作炉，既可以做成自然对流的，也可以做成强制对流的，强制对流炉通常是按照逆流的原则工作，即炉中空气流动的方向与被热物运动的方向相反，低温連續工作炉大部分是做成运输带式的。由于炉温低，运输带可用一般的結構鋼制成，因而在制

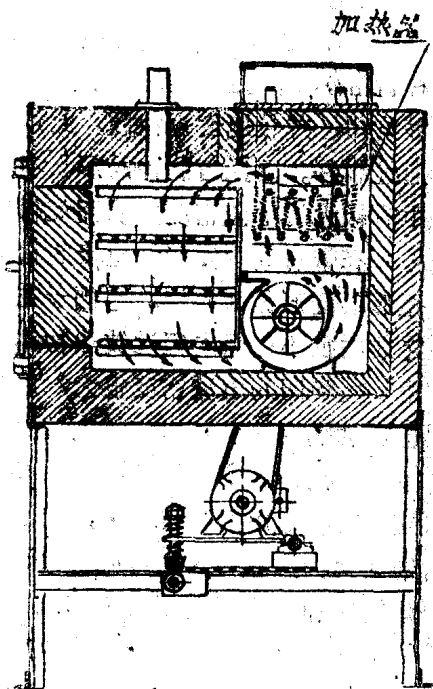


图 1—6 强制对流炉

造上并不非常困难。通常，它可以是一循环的平带，被热物被放于其上，也可以是一在炉顶下移动的循环链条，被热物被装在盛料器中而吊于其上。在温度很低的情况下（100—200°C），这种链条有时被引出炉外相当远，以便同时作为车间中运送制件之用。为了节省车间面积，这种具有循环链条的炉子有时作成直立式的。

## 2) 盐浴炉

盐浴炉是一种利用熔融的盐液来加热制件的炉子。熔融的盐液通常是装在一由金属或陶瓷制成的容器中，被热物即浸于其中。在此情况下被热物的加热主要是靠盐液与被热物之间的传导传热和对流传热来进行的。而我们知道，盐液的导热系数和对流给热系数比空气的要大得多，所以在这种炉子里加热速度很快，同时加热也很均匀。正确地选择某种盐及其混合物，可以在250—1300°C的范围内获得任意的工作温度。盐浴炉在结构上既有外部加热的，也有带内部加热器的和电极式的，前两种盐浴炉工作温度较低——主要是硝酸盐炉，供有色金属合金的型材和板材热处理用（450—520°C）。在工作温度较高的情况下，需要采用电极式盐浴炉。电极式盐浴炉也是一个装有盐液的坩埚，在坩埚中垂放有电极，由降压变压器以8—25伏的电压向其供电。盐在冷的状态下几乎是不导电的，因此在盐未熔化之前需用一辅助的电阻加热器将电极附近的盐加热，使其导电，当盐全部熔化以后再将其取出。

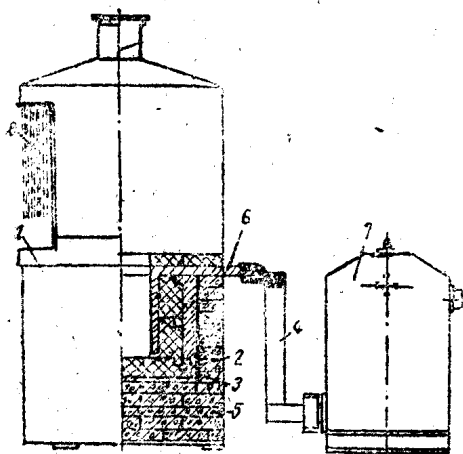


图 1-7 GN型盐浴炉

电极式盐浴炉中的电极，有的是围拖式的，有的是集中安置面可以取出的。在采用前一种电极的炉子里，其内部是一由异型耐火粘土砖砌成的六边形槽（图1-7），在槽内的三个边上，各放有一由软铁制成的平板电极，电极用铜母线与供电变压器相连接。在这种盐浴炉中，盐液的对流很不显著，上下层的温度差可能达20—25°C，以致使制件加热不够均匀，并且速度也较慢。此外，在此炉内电流实际上是充满了盐液的全部，并且也同样通过制件。因此当制件的形状不规则时（例如锋利的边缘，细小的接桥），制件中可能集有较大的电流密度，从而使得其中有很多点过热，以致造成废品或甚至熔化。

在带有集中安置的电极的盐浴炉中，上述缺点可以消除。在这种炉子里，电极是两个矩形或圆形截面的棒，它们于在盐液内相距25—50毫米远。因此，炉内电流只局限于电极之间的很小范围内经过被热物的电流极少，因而不会在被热物的某一点上造成过热。此外，由于电极间的电流密度很大，以致电极间的盐液将过热，从而产生强烈的热对流。此时，已被加热的盐液在由电极之间的空间向上，然后在上层分散至盐槽的全部，同时，较冷的下层盐液则自下部被吸引至电极之间。当电极的电流密度甚大时（约为15—25安/厘米<sup>2</sup>）盐液内的电磁力将占优势，处于电极间的盐液即被向下驱送，结果对流将反回，而其强度则更大。盐液的这种对流既大大地加强了由盐液向制件的传热，同时也大大提高了制件在炉内的加热均匀度（±3°C以内）。

盐浴炉除可供一般的热处理，如淬火、回火等使用以外，还可以在选用适当盐液成份的情况下，进行钢件的某种化学热处理，例如渗碳和渗氮。

被热物加热完毕自盐浴炉中取出时，外面包有一层盐液薄膜，这种薄膜可以保护制品表面免受空气氧化，这也是在盐浴炉内加热的一个重要优点。

盐浴炉的缺点是：1. 单位能量消耗大，因为自盐液表面散失的热量很多，并且由于预热时间长及其复杂性，炉子必须连续工作，以致炉子常常需要在空载的情况下工作；2. 盐的消耗量相当多；3. 劳动条件较差。虽然如此，但是由于盐浴炉的优点较之缺点更为突出，所以近来它正日益广泛地应用于热处理车间中。

我国现已生产的盐浴式电阻炉，型号有120型（仿苏C型）三相高温电极盐浴电炉，121和122型（仿苏C型）三相中温电极盐浴电炉，123和124型（仿苏C型）单相高温，中温电极盐浴电炉和130型（仿苏B型）

#### 4. 熔炼用电阻炉

在电阻炉内熔炼的主要是熔点较低的金属，对于熔点较高的金属，由于受到加热器工作温度的限制，一般都不适于在电阻炉内熔炼。最简单的熔炼用电阻炉是熔炼锡、铅、锌和巴比特合金等低熔点金属的炉子。这种炉子构造很简单。它有一个铸造的或焊接的钢槽或锅，钢槽或锅之中盛放于熔炼的金属，它可以象加热炉一样用加热器从外部加热，也可以在钢槽或锅中放入管状加热器进行内部加热。内部加热的炉子效率较高，并且也比较紧凑；因而近来已被大大推广。

可以在电阻炉内熔炼的熔点较高的金属，有铝、镁及其合金。熔炼镁合金通常采用外部加热的坩埚炉。这种坩埚细而高，系由耐热钢所制成。坩埚的形状细高，一方面是为了将金属的自由表面减至最小，以免金属在空气中氧化过于剧烈，另一方面也是为了加大坩埚的受热面。这种炉子的容量一般在250公斤以下。

对于铝的再熔化，相反地却要求炉子具有一平槽，以便在熔化时除去金属中所含的气体。因此，为了熔化铝，常采用灶式炉。在这种炉子里，金属系直接放在炉衬上，受装在炉顶上的加热器的辐射而熔化，这种炉子的电能消耗很多，因此近来已逐渐被比较经济而生产率也较高的铁心感应炉所代替。

#### 5. 实验室用电炉

实验室用炉应该具备以下几个特点：1) 由于被热物件的尺寸往往很小，并且数量也不多，所以炉子的容量可以较小，2) 能够适于多种多样的工作，3) 加热温度的范围比较广。

实验室中最常使用的是管状炉和茂福炉。这两种电炉各有一用耐火粘土或刚玉制成的管状（管状炉）或矩形（茂福炉）加热室。加热室外缠有加热器，其上涂有耐火材料，并以绝热材料包围之（图1—8）。这样将加热器与工作空间隔绝开来，具有以下两个优点：1) 加热器不会受到机械作用和化学作用的影响而损坏，2) 加热器不会发生匝间短路。但是也有两个缺点，即加热器与工作室内壁间的温度差较大，并且加热速度较慢。这种炉子的工作温度在1300°C以下，加热器多半是由镍铬合金或其它耐高温合金所制成，过去在高温情况下所使用的铂金加热器已逐渐被淘汰。

如果工作温度需要更高，则可以使用带碳质加热器的塔曼炉（Печь Таммана）和碳粒炉。

塔曼炉的主要部分是一当作加热器的碳管，碳管的内部就是工作空间，被热物即放于其中。碳管的两端夹有碳或生铁做成的管头，以便由电炉变压器向其供电。由于碳管在空气中氧化甚烈，所以炉壳应该密闭，并且应该在氢、氮等保护气氛或真空下工作。否则碳

管的寿命只有数小时。由于碳管的截面大，其电阻甚小，所以接至碳管的电压不高，只有20—30伏。这样一来，流经碳管的电流便很大。因此，为了减轻供电的困难，碳管总是和供电变压器放得很靠近，通常是装在同一个外壳中。塔曼炉的工作温度约为1500—1700°C，在采用特殊结构的情况下，温度可达2000—2500°C。

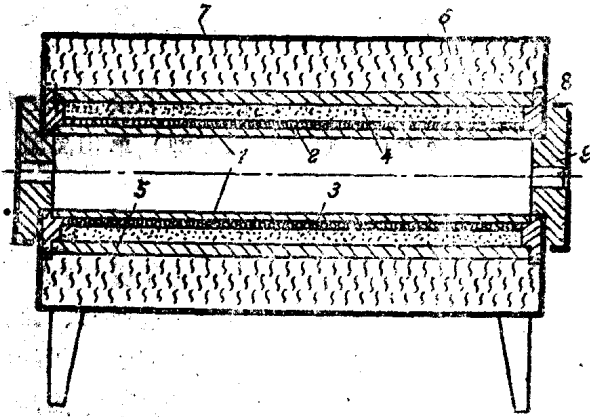


图 1—8

1—耐火管；2—加热器；3—涂料；4—耐火粘土粉；5—耐火粘土管；6—绝热材料；7—外壳；8—端环；9—爐門。

另一种使用碳质加热器的炉子是碳粒炉。实际上，这种炉子相当于将塔曼炉中的碳管代之以碳粒捣固的。碳粒的直径以1—3毫米为宜，它可以用普通的电极碎料制成，因而成本甚低。碳粒在炉中充填于两个由耐火材料制成的管子之中。炉子的两端较粗，中间较细。这样是为了尽量减少产生于管子两端的热量，并同时在中部造成一高温区。碳粒在空气和高温的作用下，会逐渐烧损，因而必须不断补充。但由于其价甚廉，所以并非一很大的缺点。碳粒炉的最大缺点是其电阻随着碳粒的捣固程度和温度的变化而变化，因此这种炉子必须备有一调压范围约为3:1的调压变压器。有时，也可以用一可变电阻器来代替调压变压器。但这只是对容量较小的炉子方才合理，否则将会带来很大的能量消耗。碳粒炉的工作温度一般在1600—1700°C左右。

#### 6. 直接加热炉

所谓直接加热，即被热物直接接在一降压变压器上，电流直接流过被热物，因而热量也直接在被热物内产生。这种加热方法只适于相当长的、组成均匀和截面均一的制件。因此，可以用这种方法加热的有金属棒、管子、轴、弹簧、铆钉等。

直接加热具有许多重大的优点。首先，由于热量是在被热物内产生，不需要从被热物的表面传入内部，因而加热速度不受任何限制，往往只要数秒或数十秒即可加热完毕。其次，在加热如此迅速的情况下，热量损失将可以忽略不计，从而在很多情况下可以不使用炉衬和绝热材料。同时，由于加热速度很快，被热物表面的氧化和退碳也将来不及产生。此外，这种加热方法由于不需要加热器，所以加热温度也不受任何限制。

这种加热方法的缺点是，1)由于电流大，以致电极与被热物之间的接触问题难以满意的得到解决，2)测量和自动调节温度困难，无法采用热电偶高温计。

## 第2节 加热器的材料与结构

### 1. 对加热器材料的要求：

- 1) 足够的耐热性，即在高温不氧化或氧化得很少。
- 2) 在高温下具有一定的机械强度，足以支持本身而不产生变形。
- 3) 比电阻相当大，否则加热器将不得不做得细而长，这样即不便于在炉中安置，其寿命也短。

4) 电阻温度系数愈小愈好, 否则在接恒定电源上工作时, 在加热过程中电流变化太大。

5) 具有很好的可靠性, 对于金属材料要能加工成线状, 带状或螺旋状, 要能够焊接, 对于非金属要能压制成形。

6) 长时间工作不老化。

7) 原料必须是国内蕴藏丰富的矿产, 制造成本要低廉。

当然, 一种材料同时要满足所有上述要求是很困难的, 因为这些条件常常是互相矛盾的。在实际应用中电阻炉的加热器都是由金属和非金属两种材料制成, 因此我们可根据上述要求针对具体材料, 进行经济技术比较, 最后决定选取之。

## 2. 加热器的材料

### 1) 金属加热器材料

制造加热器的主要材料是镍铬合金, 因为这种合金是有高的电阻系数和较小的电阻温度系数, 在高温下很稳定, 加热时表面与空气中氧作用以后, 生成一种氧化铬薄膜, 能有效的防止氧侵入合金内部而氧化。

制造加热器的最好材料是含镍80%和铬20%的合金, 因为镍与铁含量愈少, 耐久性就愈高, 含铬量过高的镍铬合金可塑性很差, 一般只适用于直接铸造的加热器元件。在钢铁中用铝代替镍所制成的铬铝铁合金的加热器元件, 其耐热性比镍铬合金还高, 不过缺点是加工性不良和使用不久即变脆。

在金属加热器中除镍铬合金和铬铝铁合金外, 钨钼和铂也可应用, 其温度可达1500—2500°C, 但钨和铂在加热到一定温度时即开始氧化, 因此必需在真空或保护气体中使用。铂由于价格十分高昂而不宜大量采用。为了节省镍铬材料, 当炉温不超过800°C时加热元件可采用渗铝的低碳钢丝。

我国电阻炉中所使用加热器材料, 除一部分从国外进口外, 绝大部分都由国内制造, 因我国镍铬合金原料缺乏, 大量生产镍铬合金加热器材料受到一定限制, 因此现在生产的主要是各种成份的铬铝铁合金, 这些铬铝铁合金在大跃进中经过工人和技术人员的大胆创造, 在其成分内加入微量的稀土金属后, 其寿命可比一般的高出数倍, 并且加工比较容易。

除上述加热器材料外, 一九五六年瑞典康太尔公司试制成功了一种名叫“超级康太尔”加热器可供1600°C高温之用。这种加热器材料主要是二硅化钼, 用粉末冶金方法制成圆棒, 然后经加热弯成U字形。

### 2) 非金属加热器材料

非金属加热器的耐热性很高, 当金属元件所能达到温度不足时, 可使用非金属元件, 适宜制造非金属加热器材料有碳素体和碳化硅等。虽然石墨通电后能产生2000°—3000°C的高温, 但在高温下与空气接触很快便被氧化, 因此适用在试验室电炉中, 在非金属材料中应用最多是碳化硅, 它是由碳化硅工厂用挤压方法制成, 从化学成分上看碳化硅几乎是一种半导体材料。

现今采用非金属材料是被称为稀利特和格鲁巴的碳化硅的加热器材料, 碳化硅能够很好的经受住1400—1450°C的高温。碳化硅的比电阻较金属材料大得多, 所以它仅应用制造棒形的加热器。

我国出品的碳化硅加热器, 分有两端加粗和两端圆头的两种, 它们的形状见图1—9,



直径从6—25毫米和22—30毫米。

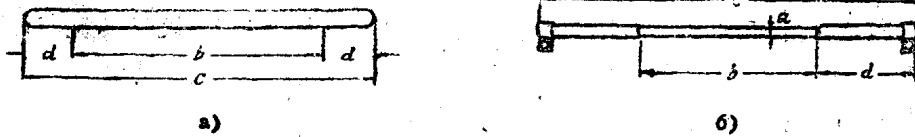


图 1—9

在非金属材料中尚有一种盐类电阻体，如钾，钠，钨等。这些盐类在热状态下具有导电性，通以电流后温度可达1300°C，这种非金属盐类导电材料，被广泛应用在电极盐浴炉中。

### 3. 加热器的结构

大多数工业电炉的加热器或是由圆绕做成，或是由扁绕做成。在图1—10中，示有圆绕螺旋形加热器的结构和它在炉顶、炉墙和炉底上的固定方法和出绕方法。螺距 $h$ 、螺旋直径 $D$ 和圆绕直径 $d$ 之间的比例应如此选择，使加热器易于安放在炉中，保证其具有足够的坚固性，同时还要使由加热器向被热物的传热不过于困难。一般说来，螺旋直径愈大、螺距愈密，则加热器在炉中安放愈容易。但随着螺旋直径的加大，螺旋加热器的强度将减小，相邻两圈靠在一起的倾向将增大。另一方面，随着缠绕紧密程度的增加，加热器各圈朝向被热物的部分对其余部分的屏蔽作用便增大，因而其表面利用率随之降低。对于直径为3—7毫米的圆绕，在圆绕直径 $d$ 、螺旋直径 $D$ 和螺距 $h$ 之间根据经验已经确定了如下的比例关系，建议加以采用： $h \geq 2d$ ， $D = (6-8)d$ （镍铬合金）， $D = (4-6)d$ （铁铬铝合金）。对于较细的圆绕，螺旋直径与圆绕直径之比以及螺距，一般都取得比较大。对于加热器的引出绕，则其截面应该有加热器本身的三倍大，以便减少引出绕中所产生的热量。通常，引出绕处于高温区的部分是由镍铬合金或耐热钢做成，而其余部分则可以用普通的钢材做成。

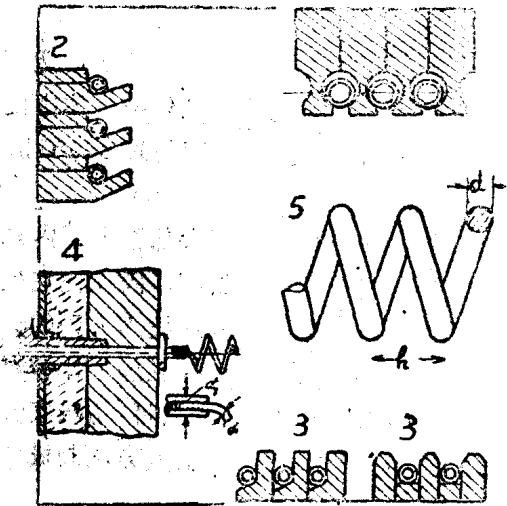


图 1—10 螺旋状加热器及其安置法

1—炉顶上的固定法；2—侧墙上的固定法；3—炉底上的固定法；4—发热器的出绕；5—发热的尺寸。

对于直径为3—7毫米的圆绕，在圆绕直径 $d$ 、螺旋直径 $D$ 和螺距 $h$ 之间根据经验已经确定了如下的比例关系，建议加以采用： $h \geq 2d$ ， $D = (6-8)d$ （镍铬合金）， $D = (4-6)d$ （铁铬铝合金）。对于较细的圆绕，螺旋直径与圆绕直径之比以及螺距，一般都取得比较大。对于加热器的引出绕，则其截面应该有加热器本身的三倍大，以便减少引出绕中所产生的热量。通常，引出绕处于高温区的部分是由镍铬合金或耐热钢做成，而其余部分则可以用普通的钢材做成。

近来，广泛地采用了一种将螺旋形加热器绕于瓷管上的结构。这种加热器的主要优点是机械强度大为增高，同时并不象置于沟槽中的加热器那样，受到很大的屏蔽作用。

扁绕加热器多被做成曲折形的。扁绕加热器的结构，以及它在炉中的固定和出绕方法，示于图1—11中。扁绕曲折形加热器的尺寸，从保证足够的机械强度和屏蔽作用不大的观点出发，应该尽力满足下列的尺寸关系（参看图1—11）：

$$\frac{a}{b} = 0.1(0.05-0.2); h \geq 2b; r \geq 3a;$$

$$B = 100-150 \text{ 毫米 (在炉顶和炉底上)}$$

$$B = 200-400 \text{ 毫米 (在炉墙上)}$$