

真空应用设备

(上)

东北工学院真空教研室

一九七九年十二月

CN.

前 言

本书是根据《真空技术与设备》专业教学大纲的要求编写的。

书中主要写了真空干燥和处理方面的五种设备的设计和制造问题。附带讲了一些与设备有密切关系的工艺问题，以便设计者全面地考虑问题。

参加本书编写的人员有张继远（第一章）、孙殿君（第二章）、郭鸿霞（第三章）、张树林（第四章）和李云奇（第五章）等同志。

由于我们水平有限，书中一定存在着许多缺点和错误，请读者批评指正。

《真空应用设备》编写组

一九七九年四月

目 录

第一章 真空电阻炉

概述

§1-1 真空电阻炉设计概论

一、真空电阻炉设计的原始参数及要求

二、真空电阻炉的设计程序

§1-2 真空电阻炉的设计与计算

一、真空电阻炉加热功率的计算

二、真空电阻炉加热元件的计算及结构设计

三、真空电阻炉材料

四、炉壳设计

五、其它部件的设计

六、真空电阻炉的真空系统

七、水冷系统的计算

八、电阻炉的供电系统

§1-3 真空热处理设备

概述

一、真空热处理的优缺点

二、真空热处理炉的结构组成

三、风冷室的设计

四、油淬室(淬火槽)的设计

五、真空热处理炉传动机构简介

六、真空热处理炉的电气系统

第二章 真空感应炉 (目录)

§2-1 概述

- 一、真空感应炉的工作原理
- 二、真空感应熔炼的特点及在冶金生产中的地位
- 三、真空感应炉的分类
- 四、真空感应炉的参数
- 五、真空感应炉的发展概况

§ 2-2 感应加热与熔炼的物理基础

- 一、电磁感应现象与感应加热的物理实质
- 二、集肤效应与透入深度
- 三、邻近效应与圆环效应
- 四、电动力效应与搅拌作用
- 五、感应加热过程中材料物理性能的变化
- 六、感应加热时的传热及温度分布

§ 2-3 真空感应炉的结构设计计算

- 一、总体结构
- 二、炉体结构设计计算
- 三、坩埚结构设计计算
- 四、感应圈结构设计计算
- 五、转轴结构设计计算

§ 2-4 真空感应炉的电流

- 一、几种常见的中频电流
- 二、电流的选择

第三章 真空电弧炉

概述

§ 3-1 真空自耗熔炼的工艺流程

- 一、真空电弧的稳定问题
- 二、真空自耗电弧炉中精炼问题

§ 3-2 真空自耗炉的结构及其设计计算

- 一、炉体
- 二、坩埚及其水冷装置
- 三、电极杆及其传动装置
- 四、视觉装置

§ 3-3 真空自耗炉的电流和自耗极的控制

- 一、真空自耗炉的工役电流、工役电压和炉子功率的计算
- 二、电弧电流
- 三、电流引线
- 四、电极传动的自动控制

第四章 电子轰击炉

§ 4-1 概述

§ 4-2 电子轰击炉的主要结构

- 一、炉体设计及X射线屏蔽计算
- 二、拖轮机构
- 三、进料机构、进料速度和熔化速度
- 四、真空系统
- 五、视觉装置
- 六、熔炼功率计算
- 七、安全防护措施

§ 4-3 电子束加热的基本原理

§ 4-4 电子枪的设计与计算

- 一、电子发射口
- 二、电子发射口的计算方法
- 三、电子光路系统设计
 - 1 电子束的聚焦
 - 1) 静电聚焦

2) 磁聚焦

2 电子束的偏转

1) 静电偏转

2) 磁偏转

四 电子枪的实验

五 电子枪的计算实例

§4-5 电流及控制系统

叙述

一、主电路

二、高压调节方式

1. 饱和电抗器、磁放大式

2. 调压器式

三、短路消除和过电压保护装置

四、电流设计的若干问题

1. 电子束功率的控制和稳定

2. 高压整流变压器容量确定

3. 整流元件的选择

4. 限流电阻的设计

5. 均压电容的选择

第五章 钢液真空处理技术与设备

前言

§5-1 钢液真空脱气及排除夹杂处理

一、脱气

1. 脱氢

2. 脱氮

二、脱氧及氧化物夹杂的排除

三、脱硫

四、钢液与耐火材料的反应

§5-2 钢液真空处理方法

一、概述

二、真空脱气方法

1. 真空钢流脱气法
2. 真空钢包脱气法
3. 真空提升脱气法
4. 真空循环脱气法

三、真空精炼方法

1. ASEA-SKF 精炼法
2. VAD 精炼法
3. 真空脱碳精炼法

§5-3 钢液真空铸锭设备

一、钢液真空铸锭设备的结构型式

二、真空室的结构及设计要求

三、真空铸锭设备的强度计算

1. 真空室盖的强度计算
2. 真空室圆筒壳体计算

§5-4 钢液真空循环处理设备

一、钢液真空循环处理设备的参数

二、钢液真空循环处理设备的设计要求

三、钢液真空循环处理设备的结构型式

四、真空脱气室的构造

五、真空脱气室的设计计算

1. 循环管直径和长度
2. 真空脱气室尺寸

六、耐火材料的选择

七、真空脱气室的加热

18. 驱动气体的输入

§5-5 钢液真空提升处理设备

- 一、钢液真空提升处理设备的参数
- 二、钢液真空提升处理设备的升降机构
- 三、真空脱气室的形状和尺寸
- 四、耐火材料的选择

§5-6 钢包精炼设备

- 一、钢包精炼设备的结构
- 二、精炼钢包

1. 钢包的结构及特点
2. 钢包的设计

三、钢包车

四、电弧炉搅拌器

五、电炉加热系统

六、真空密封炉盖

七、钢包精炼设备的耐火材料

§5-7 钢液真空处理设备的抽气系统

- 一、两类不同系统的探讨
- 二、蒸气喷射泵系统的组成及其布置形式
- 三、蒸气喷射泵系统的元件
- 四、蒸气喷射泵系统的设计问题

1. 钢液脱气及蒸气喷射泵抽气能力的选择问题
2. 关于蒸气喷射泵的有效利用问题
3. 真空泵、管道、伐门等元件的布置问题
4. 温度与压力的测量问题
5. 关于排气时间的解释问题

五、水蒸气喷射泵

1. 蒸气喷射泵的工作原理及结构

2. 蒸汽喷射泵的一些性质

3. 蒸汽喷射泵的运用

§ 5-8 钢液真空处理设备的附属装置

一、精炼元素，合金元素的添加装置

1. 添加装置的设计要求

2. 添加装置的分类及结构

二、钢液真空处理设备的液压系统

1. 液压系统的工作特点及组成

2. 钢液真空处理设备液压系统的设计

3. 液压传动系统的计算

三、吹氩装置

第一章 真空电阻炉

概述

在各种电炉中，目前应用最广泛的要称电阻炉了。当把电流接到能够导电的导体上的时候，导体中就有电流通过，由于导体中有电阻存在，故导体中就会产生热。在电流相同的情况下，导体中的电阻愈大，产生的热量越多。日常生活中的电灯泡发热就是一个例子。电灯泡里已有电阻很大的导体——钨丝，当灯泡通电时，电流从钨丝中通过，由于钨丝的电阻而产生光和热。电阻炉就是把这种电阻所产生的热量加以利用的炉子。

电阻炉广泛用于机械零件的淬火，回火退火，渗碳，氮化等热处理之中，也用于各种材料的加热，干燥，烧结，钎焊，熔炼等工艺。电阻炉是发展最早，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主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，当电流接在加热元件上或加在导电液体上之时，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，将热量传到放在炉内的炉料（在炉内受到加热的材料、工件等总称）上而使之加热。在直接加热式电阻炉中，电流是直接接在被加热的材料上，利用材料本身电阻热来加热的（当然材料也必须是导体），如钢、铜、铝等烧结炉就是例子。这种直接加热电阻炉可用作加热炉，也可用作熔炼炉，用作加热炉的直接加热式电阻炉，一般讲只适用于质地均匀，截面相同和比较细长的材料。因为只有这样条件下，才能保证材料的均匀加热。此种加

热方法只适用于棒状、管状和块状的材料。直接加热方法优点：由于热量不是从外界传给而是由被加热材料本身内部产生的，故在其它条件相同的情况下，材料内部的温度差就很小，而加热速度可以很高。其次，由于加热很快，热损失就很小。因此在很多情况下无须用炉衬就能有很高的热效率。而且不用保护气体保护，金属的氧化脱碳也很少。最后，由于没有加热元件，加热温度不受限制。直接加热的缺点：对被加热材料的形状有严格要求，大电流导电夹头制造困难，测量和控制温度比较困难。工业上用的电阻炉绝大多数是直接加热电阻炉。

若炉子加热时炉内被抽成真空，称为真空电阻炉。它是在第二次世界大战后才发展起来的。其发展的初期主要用于钛、锆、钽等活泼金属，难熔金属和某些磁性材料，电工合金等的光亮退火和真空除气。其次用于不锈钢的真空焊接，粉末冶金的热处理等。近年来由于电阻炉制造技术的发展，已开始用于钢材的光亮淬火和表面渗碳，铝材的真空钎焊，不锈钢和碳钢的真空压铸等。

真空电阻炉同保护气氛电阻炉相比，真空电阻炉除了同样可以做到工件不氧化，不脱碳，不渗碳以外，还具有显著的除气效果，又因不需要保护气体发生装置，该操作简便，劳动条件较好。真空电阻炉还能达到其它电阻炉所不能达到的高温，从而扩大了电阻炉的应用范围。

真空电阻炉的缺点是炉内的传热几乎完全靠辐射和工件本身的传导，因此加热速度比较慢，加热均匀性比较差。其冷却也比较慢，尤其是在 500°C 以下的低温情况下，冷却更慢，为了加速电炉内部的冷却，需要采取一些特殊的措施，如通入惰性气体和氮气等加速冷却。

真空电阻炉按照作业方式可分为周期式电阻炉，并在

续式电阻炉和连续式电阻三种。

1. 周期式电阻炉（间歇式）：炉子在加热的整个工艺过程中（炉料的加热、冷却和保温）都在一个室内进行。当工艺结束后，按工艺要求向室内通入气体，然后才能开门装取料。

2. 半连续式电阻炉：炉料的加热和保温在一个室内进行，而冷却则在另一个室内进行，各室之间用铁门隔开。这种电炉加热室在工作过程中始终不接触大气，经常保持高温，这样提高效率。

3. 连续式电阻炉：炉料的加热和保温也在一个室内进行，但这时炉料是连续移动的或者是沿着加热室周期移动的，炉料逐渐被加热。除了加热室外还有冷却室和装料室及出料室，以保证加热室不破坏真空，使工艺连续进行。在连续式电阻炉中，通常具有几个加热区，这些加热区中具有各种不同的温度，可见连续式电阻炉比周期式电炉要复杂，因为它需要移动工件的传动机构。其生产能力大。这种炉适于处理大量的炉料情况采用。

一般讲：箱式、井式、升降式和罩式是周期式的或者是半连续式的电炉。而推送式、隧道式、步进炉底式和牵引式则属于连续式的电炉。

按真空度高低，真空电阻炉可分为低真空炉，其真空度为 $1 \sim 1 \times 10^{-1}$ 托。中真空炉，其真空度为 $1 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10^{-4}$ 托和高真空炉，其真空度为 $1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-6}$ 托，也有少数特殊用途的电阻炉做成超高真空（真空度在 1×10^{-6} 托以下）。这种分类方法是根据真空系统而分的。低真空电炉采用一台机械泵获得真空。中真空电炉是采用增压泵与机械泵串联获得真空。高真空电炉则是采用扩散泵与机械泵串联（或扩散泵、增压泵和机械泵串联）获得真空。超高真空电

炉则是采用分子泵系统或钛泵系统新款得真空。

按工作温度，真空电阻炉可分为低温炉（低于 700°C ），中温炉（ $700 \sim 1250^{\circ}\text{C}$ ）和高温炉（ 1250°C 以上到 3000°C ）三种电炉。也有人介绍真空电阻炉按工作温度分类可分为低温及高温两种，其理由是当温度超过 $1150 \sim 1250^{\circ}\text{C}$ 限度时，炉子的结构必须进行根本的改造。因为一般电炉的炉衬及加热元件材料已经不适用了。

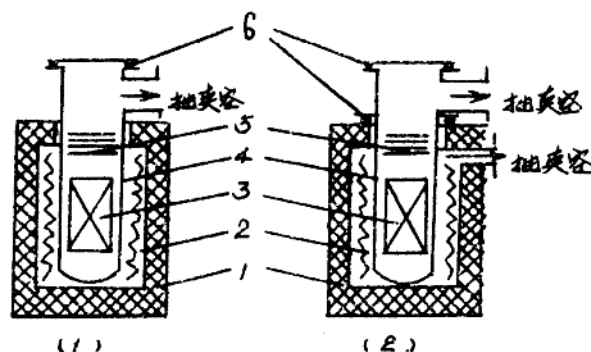
按炉子的形式，真空电阻炉可分为三种类型：

1. 立式炉：炉子立放，占地面积少，占空间较多，需较高的厂房。
2. 卧式炉：炉子横放，占空间较少，占地面积较多，不需要高厂房。
3. 立卧相结合式炉：具有以上两种炉型的特点，国内已有此种炉子。真空电阻炉，按照加热体放在容器的内外可分为两种：

1. 外热式电炉，加热体放在真空罐外，又称为有罐式炉（也叫热壁式）。它是早期发展起来的真空电阻炉，又被叫做马弗炉，炉罐叫做马弗罐。

2. 内热式电炉，加热件放在真空罐内，又称为冷壁式电炉，也叫无罐式电阻炉。现在所采用的真空电阻炉绝大部分是内热式。

如图 1-1 所示，就是外热式电炉，一般低温真空电阻炉常采用有罐式结构，并具有耐火炉衬，炉罐放在炉膛里，只将炉罐抽成真空。中温真空电阻炉也有采用罐式结构的，这时由于炉温较高，在炉罐直径较大的情况下，炉罐壁耐受不了外界大气压力，此时可在炉罐外用机械泵抽成低真空（ $1 \sim 10^{-2}$ 托），而在炉罐内根据需要可抽成中真空及高真空。在使用这种炉子时要注意内外压力要有良

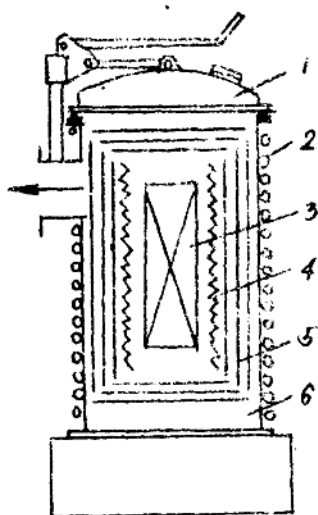


(1) 只在炉罐内抽成真空；(2) 炉罐内外都抽成真空
1-炉衬；2-加热元件；3-工件；4-炉罐；5-反射屏；6-密封圈

图1-1 热壁式真空电阻炉示意图

敏的平衡系统。假如内外压力不平衡时将导致炉壳罐破坏。有罐式真空电阻炉的优点是电炉的热损失少，在炉罐密封完好的情况下，容易在炉罐中造成较高的真空度。其缺点是热壁式真空电阻炉加热工件速度慢、冷却速度也慢。由于这些缺点的存在，为了适应更高温度，更低压强及快速加热和冷却的需要，近年来设计出冷壁式真空电阻炉（即无罐真空炉）。整个炉壳都保持同样的真空度，外壳是采用真空密封的并用水冷却的。见图1-2所示，这是一个用辐射屏作为保温材料冷壁式真空电阻炉，现在绝大多数的真空电阻炉都采用这种冷壁式的，只有在特殊需要的情况下才使用热壁式真空电阻炉。因此在这部分讲义中主要介绍冷壁式真空电阻炉的设计与计算。

随着科学技术的发展，一些新的真空设备将不断出现和发展，例如最近真空热处理炉得到迅速发展和应用，真空热处理炉大部分是电阻炉，可见真空电阻炉的应用越来越广泛了。



1-炉盖；2-冷却水管；3-工件；4-加热元件；5-反射屏；6-炉体。

图1-2 冷壁式真空电阻炉示意图

§ 1-1 真空电阻炉设计概论

一、真空电阻炉设计的任务参数及要求

首先根据用户对炉子性能参数的要求，确定炉子的设计方案，应给出下列参数及要求：

(一)使用温度：要给出炉膛内的最高使用温度和常用温度，这样才能选择适当的加热体材料和耐火保温材料，也是计算炉子功率的主要参数。

(二)炉料的重量及形状尺寸：了解炉料重量是为了计算加热功率。了解炉料形状和尺寸是为了确定炉内加热均匀区尺寸，再根据炉内构件所佔空间尺寸，方能确定整个炉膛尺寸。

(三)炉料加热时允许的温度误差，根据误差范围确定均

温度可以反映温度变化。

(四)升温时间：了解炉料升温时间，即可标出所需功率。

(五)炉内真空度：这里包括冷炉的极限真空度和加热时的工作真空度，确定真空系统的基本组成。

(六)炉料的放气量：主要是指物料在炉内处理过程中放出的气体量，并了解放气均匀情况。为计标系统主要参数。

(七)炉子的漏气率：根据用户要求确定漏气率，以便防止炉料氧化。并为计标真空系统作为一个重要参数。

(八)化学反应：炉料在处理过程中有无化学反应，是放热或吸热。有无腐蚀性气体产生。

(九)炉子的生产形式：1. 周期式；2. 半连续式；3. 连续式。

(十)机械化、自动化程度。

1. 手动——调节功率和炉料传动及真空伐门开关等全部手动；

2. 电动或气动——功率调节，炉料传动及真空伐门开关，自动控制炉温等均用电动或气动控制；

3. 炉子全部实行程序控制。

(十一)有关安全防护问题：主要有防止大气下开大真空伐门，设防外伐和断水断电等安全措施。真空度破坏时要有警报等。

(十二)电气系统要求：用户可从对电阻炉的温度控制提出要求。有可控硅控制，磁性调压控制，接触式调压等。

(十三)用途：要了解是多用炉还是专用炉。由于用途的不同，炉子的结构也有所不同。

根据上述技术参数和要求，制定真空电阻炉的设计任

务书。

二、真空电阻炉的设计程序

一般可将电阻炉设计分为三个阶段，确定方案，结构设计和施工设计。

(一)确定方案：根据设计任务书的要求，参考有关资料，现场进行调查研究，确定出炉子的方案，这其中包括，炉体方案草图，真空系统草图，机械传动草图，电气原理草图，总体草图和地基草图。方案图可以有两种或三种供讨论时比较和选择。在方案草图中要提出技术指标及经济指标。选定方案时要征求各方意见，选取最佳方案来。方案选择好坏影响较大，千万不可马虎大意。确定方案之后便可进行结构设计。

(二)结构设计：电炉方案确定之后，就可着手绘制详细的炉体结构总图，然后绘制各部分部件图。在结构设计时要做各部分计算。主要有炉子功率的计算，加热线，真空系统，机械传动，冷却水耗量计算。还要画出电气、传动、工艺流程原理图。在结构设计中有时会把选定方案推翻重新突出新方案。

(三)施工设计：在结构设计完后要进行一次会审，然后进行施工设计为好。施工设计也是制图过程。主要是绘制二次部件，三次部件及零件图，画出国形，标注尺寸，公差配合，加工符号、热处理及制造要求。图样要能达到满足加工工艺要求。

(四)编写设计文件：

1. 设计说明书：说明书应对炉子作一简单介绍。列出炉子的规格参数，介绍炉子的性能，用途，各组成部分的设计总图。画出设备系统图，写明操作要求。

2. 安装及操作说明书：说明书应对炉子的安装注意事