

# 第34篇 工业用电炉

**主编单位:**

西安电炉研究所

**编写单位:**

上海电炉厂 江西电炉厂 长春电炉厂  
湘潭电机厂 锦州电炉电机厂

**主 编:**

蒋聪吉

**编 写 人:**

曹华新	徐国兴	花 皑	张德纯
黄明浩	胡叔良	郭桃青	王汝文
方文君	彭绪友	王灿文	张永祥
肖醉君	朱海隅	范仲清	高之纠
郭兴利	戚竞存		

2380/1002

# 第1章 概述

## 1 分类和用途

电炉是国民经济各部门的重要工艺装备。在冶金工业中,电炉用来炼制优质合金钢、铁合金、活泼金属、难熔金属等金属材料,以及半导体、石墨等非金属材料。在机械工业中电炉用来进行机械零件的热处理和表面处理、铸钢和铸铁的熔炼、粉末冶金制品的烧结、材料和制品的加热、钎焊、干燥和烘烤等。在化学工业中电炉用来生产磷、电石、塑料、合成纤维、合成树脂等重要化工原料。在建筑业、轻工业、农业和日常生活中电炉也正得到愈来愈广泛的应用。在我国实现四个现代化的进程中,电炉在提供各种新型材料、提高材料性能、延长机械零件使用寿命和提高机电产品内在质量等许多方面将起重要

的作用。

电炉按电能转换成热能的方式分为电阻炉、电弧炉、感应炉、电子束炉、等离子炉和高频电场加热设备等几类。各类电炉的发热原理、分类和主要用途见表 34.1-1。

电炉产品的型号按 JB 2249-78《电炉产品型号编制方法》编制。

## 2 设备组成

电炉是成套设备,除电炉本体外,还有许多配套设备。绝大多数电炉都配备有电控设备;多数熔炼炉和一部分电阻炉配备有专用的电源设备(如电炉变压器、中频或高频电源设备、直流电源设备等);真空电炉都配备有真空设备;控制气氛电阻炉常配备

表 34.1-1 电炉的发热原理、分类和主要用途

大 类	发 热 原 理	小 类		主 要 用 途	
电 阻 炉	在直接与电源连接的导体内,电流通过导体,因导体的电阻而产生热	按加热方式分	间接加热式电阻炉 直接加热式电阻炉		金属材料的热处理、加热和钎焊;材料或制品的干燥和烘烤;粉末冶金制品的烧结;钢的电渣重熔和铸造等
		按作业方式、炉型结构分	间歇作业式电阻炉	箱式电阻炉 井式电阻炉 台车式电阻炉 罩式电阻炉等	
			连续作业式电阻炉	传送带式电阻炉 推送式电阻炉 震底式电阻炉 滚筒式电阻炉等	
		按用途、炉内气氛或介质分	电阻加热炉	普通电阻炉 控制气氛电阻炉 真空电阻炉 电热浴炉	
		按应用范围分	电阻熔炼炉(包括电渣炉)		
		按生产工艺分	工业用电阻炉、实验用电阻炉、电子工业用电阻炉等		
		回火炉、淬火炉、渗碳炉、氮化炉、烧结炉、扩散炉、单晶炉等			

(续)

大 类	发 热 原 理	小 类		主 要 用 途	
感 应 炉	位于交变电磁场的导体,因电磁感应作用而产生感应电流,这电流在导体内流动,因导体的电阻而产生热	按用途和结构分	感应熔炼炉	无心感应熔炼炉 (包括真空感应熔炼炉) 有心感应熔炼炉	合金钢、铸铁、有色金属等的熔炼;金属坯料在热加工前的加热;机械零件的表面淬火等
			感应加热设备	感应透热设备 感应淬火设备 感应烧结炉等	
		按频率分	工频炉 中频炉 高频炉		
电 弧 炉	由于气体的电弧放电而产生热	直接加热式电弧炉	炼钢电弧炉	自耗电极真空电弧炉 非自耗电极真空电弧炉	特种钢、普通钢、活泼金属、铁合金、冰铜、电石、黄磷等的熔炼和制造(间接加热式电弧炉用于熔炼铜等有色金属,现已被感应炉代替)
			真空电弧炉		
		间接加热式电弧炉	矿热炉,又叫电阻电弧炉(按用途又分为铁合金炉、冰铜炉、电石炉、黄磷炉等)		
电 子 束 炉	由于高速运动的电子撞击炉料而产生热	电子束熔炼炉 电子束加热炉 电子束汽相沉积炉等		活泼金属、难熔金属、特种钢等的熔炼;金属材料的热处理;机械零件、工模具的表面处理等	
介 质 加 热 设 备	位于高频电场中的电介质,由于其正负电荷的高频率交替位移,引起分子摩擦而产生热	极板式加热设备		木材、纸张、谷物、铸造型芯等的干燥;橡胶的硫化;塑料的加热和焊接;木材的胶合;食品烹调等	
		微波炉或微波加热设备			
等 离 子 炉	由等离子体的能量产生热	等离子电弧炉,等离子感应炉,真空等离子炉		熔炼活泼金属,难熔金属和特种钢	

有控制气氛发生装置;电阻炉成套机组常配备有淬火槽、清洗机、干燥炉和相应的工件炉外输送装置等等。

### 3 主要特点

#### 3.1 技术经济特点

与燃料炉(油炉、煤气炉等)相比,电炉一般具有以下优点:

(1) 容易达到较高的温度和较高的能量密度。

(2) 能实现炉料本身内部的加热(如感应加热和高频电场加热),加热速度可以很快。

(3) 对炉料的沾污少,容易实现在控制气氛中和真空中的加热和熔炼。

(4) 能实现高精度的温度自动控制和有较高的加热温度均匀性,容易实现对炉料的局部加热。

(5) 对环境的污染较小,操作劳动条件比较好。各种燃料炉也各有其优点。从能源费用比较,电费一般要比燃料费高。

各炉种的一般比较见表 34.1-2 和表 34.1-3。

表 34-1-2 各种加热和热处理用炉的一般比较

比较项目 \ 炉种	燃料炉①	电 阻 炉				辉光离子 热处理炉	感 应 加热设备
		普通氧化 性气氛电 阻 炉	控制气氛 电 阻 炉	真 空 电 阻 炉	电 热 浴 炉		
能达到的最高温度	高	低-高②	低-高③	最高	中	—	中
炉温控制精度	低	高	高	高	中	低	低
受炉料形状尺寸的限制	最小	小	小	大	大	大	最大
炉料的氧化脱碳	最多	多	少	最少	少	少	少
实现化学热处理的可能性	小	无	大	中	中	大	小
操作劳动条件	不好	尚好	尚好	好	不好	好	好
对环境的污染	多	少	中	少	多	中	最少

- ① 指不用辐射管的燃料炉。用辐射管的燃料炉与用途相同的控制气氛电阻炉大致相当。
- ② 视所用加热元件而定。
- ③ 视所用加热元件和气氛而定。

表 34-1-3 各种熔炼炉的一般比较①

比较项目 \ 炉种	用 途												
	炼 钢			熔 化 铸 铁			熔 炼 有 色 金 属			炼 高 级 合 金 钢、 活 泼 金 属、难 熔 金 属			
	平 炉	转 炉	炼 钢 电 弧 炉	冲 天 炉	感 应 炉②	电 弧 炉	燃 料 炉	感 应 炉②	电 阻 熔 炼 炉	真 空 电 弧 炉	真 空 感 应 炉	电 子 束 炉	电 渣 炉③
熔炼温度	低	高	最高	低	高	最高	高	高	低	高	低	高	低
熔炼速度④	慢	最快	最快	快	慢	最快	快	快	慢	快	中	慢	中
炉料受炉衬、炉气等的污染	—	—	—	大	小	中	大	小	—	小	大	小	小
去除杂质的效果	较差	较差	好	差	差	好	—	—	—	较差	较差	好	很好
除气效果	—	—	—	—	—	—	—	—	—	好	好	最好	差
合金成分控制精度	中	低	高	低	高	中	低	高	高	低	最高	高	高
锭子结晶质量	—	—	—	—	—	—	—	—	—	好	较差	好	好
对环境的污染	中	大	大	大	小	中	大	小	小	小	小	小	较大

- ① 只就同样用途的炉种间进行比较。
- ② 各感应炉炉种间的比较另参见表 34-4-2。
- ③ 只就熔炼高级合金钢进行比较。
- ④ 就同样容量(吨)的炉子进行比较。

### 3.2 设计制造特点

(1) 电炉产品的特点是多品种、小批量,甚至有相当数量是单台产品。

(2) 电炉在国民经济各部门中主要用做工艺装备。同一种工艺往往可以由多种电炉甚至燃料炉来实现,因此在设计选型时要进行多方案的技术经济比较。

(3) 为简化电炉的设计,要力求基本炉种的系

列化,及其零部件的通用化,以便在此基础上通过组合设计,尽可能满足用户对多品种、多规格产品的需要。

(4) 电炉耗电量大,因此在满足使用要求的前提下,要力争提高电能的利用率。

(5) 炉衬是电炉的重要部分,对节电和电炉的可靠使用起重要作用,在电炉的设计、制造和使用中要特别加以重视。

(6) 电炉设计时要考虑到电炉使用中的各种不

安全因素以及各种构件受热膨胀和受电磁场影响等的情况。

#### 4 技术标准和试验

电炉的产品技术标准要根据 JB 2250-78《电炉

基本技术条件》和其他有关标准 (JB 2251-78《电阻炉基本技术条件》、JB 2252-78《感应炉基本技术条件》等)并结合产品本身的特点制订。电炉产品的试验要根据电炉的产品技术标准进行。

## 第2章 电阻加热炉

电阻加热炉是利用电流通过电阻体产生的热量来加热炉料的一类电炉。与其他电炉相比,电阻加热炉具有发热部分简单、对炉料种类的限制少、炉温控制精度高,容易实现在真空或控制气氛中加热等特点,是应用面最广、品种规格最多的一类电炉。

### 1 分类和用途

电阻加热炉有间接加热和直接加热两种加热方式。工业电阻炉绝大多数为间接加热式,本章主要介绍这类电阻炉。

电阻加热炉可分成普通电阻加热炉、控制气氛电阻加热炉、真空电阻加热炉和电热浴炉。其特点和主要用途见表 34·2-1。

### 2 主要技术参数和发展趋势

电阻炉的主要技术参数有:额定功率(千瓦),额定温度( $^{\circ}\text{C}$ ),额定电压(伏),工作空间尺寸(毫米),生产率(公斤/时)或最大装载量(公斤),空炉损耗功率(千瓦),空炉升温时间(小时),炉温控制精度( $^{\circ}\text{C}$ ),炉温均匀性( $^{\circ}\text{C}$ )等。各参数的定义和电阻加热炉试验方法见 JB 2251-78《电阻炉基本技术条件》。

电阻加热炉的性能对于加热工艺的实现、产品质量和生产成本等有很大影响。通常要求加热温度、温度控制精度、炉温均匀性、升温时间等满足工艺要求;同时还要求空炉损耗功率低、使用可靠、操作省力、维修简便。

电阻加热炉的发展趋势是:

(1) 发展控制气氛电阻加热炉 在大批量生产的场合,发展各种机械化、自动化程度高的连续作业式控制气氛电阻加热炉,组成各种热处理生产自动线,以提高生产率和热处理质量。在小批量生产的场合,发展箱式气体渗碳炉(又称多用炉)和滴控式

井式气体渗碳炉等炉种。

发展无罐式控制气氛电阻加热炉,同时结合我国资源情况,发展新型耐热钢材或其他耐热材料的炉罐。

研究发展简易的控制气氛制备方法和简便可靠的炉气碳势控制方法。

(2) 发展真空电阻加热炉,扩大其应用范围。

(3) 减少电热浴炉的公害,提高其机械化、自动化程度。

(4) 采用耐火纤维制品等优良的轻质耐火隔热材料,以提高电阻加热炉的技术经济指标。

(5) 发展新型加热元件,改进加热元件材料的性能,增加加热元件的使用寿命。

(6) 提高电阻加热炉的机械化和自动化程度,改进控制性能和提高生产率。

### 3 普通电阻加热炉

#### 3.1 常用炉型及其选择

常用炉型及其特点见表 34·2-2。低温炉( $<700^{\circ}\text{C}$ )一般要采用强迫通风循环的炉型。

选择炉型应考虑以下一些方面:

- (1) 炉料的材质、形状和大小;
- (2) 加热工艺的要求;
- (3) 工件品种的多少,生产率和批量大小;
- (4) 用户的具体情况,如厂房高度、电炉设备的占地面积、生产线上其他设备能力等;
- (5) 炉用消耗材料的补充和供应;
- (6) 工人的操作条件。

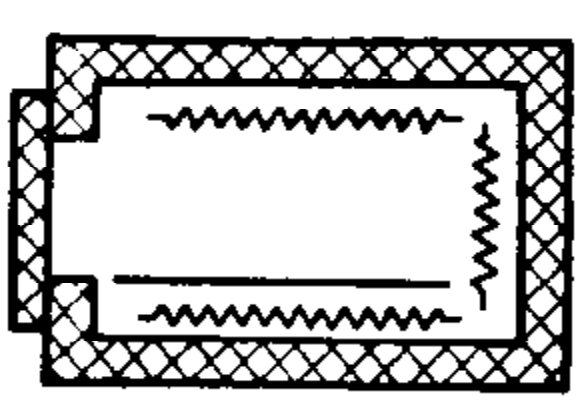
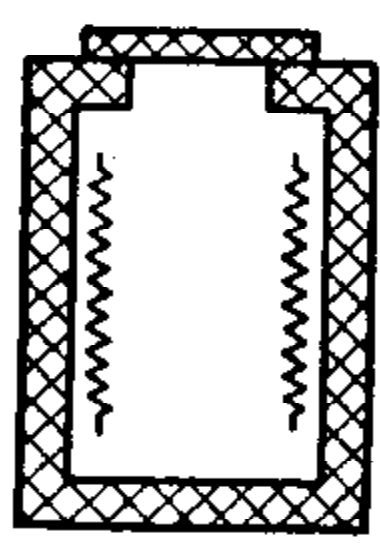
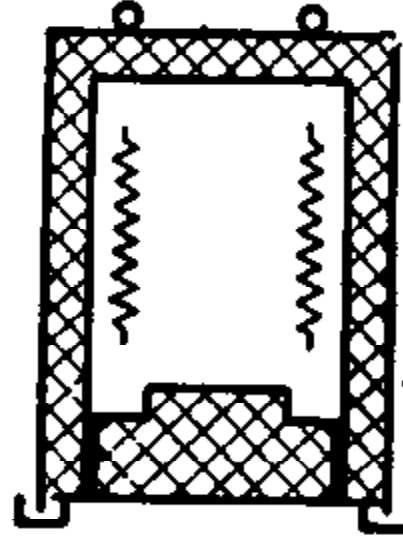
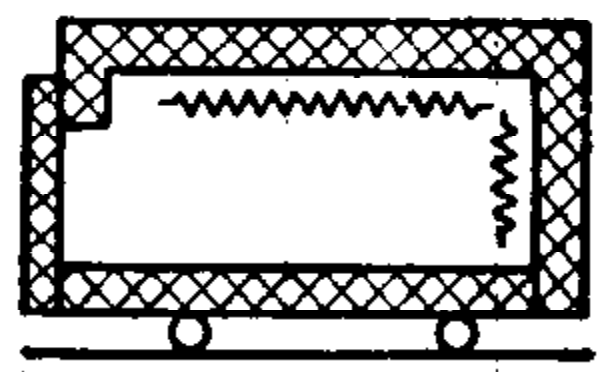
#### 3.2 基本结构和结构设计要点

普通电阻加热炉一般有炉体和电气控制设备两

表 34.2-1 各种电阻加热炉的特点和用途

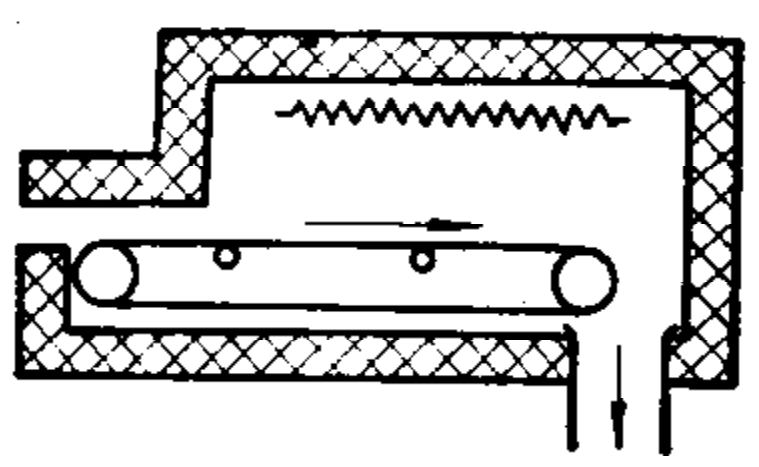
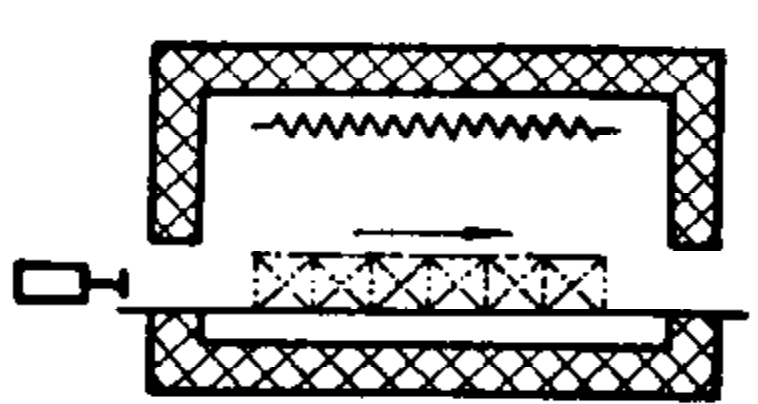
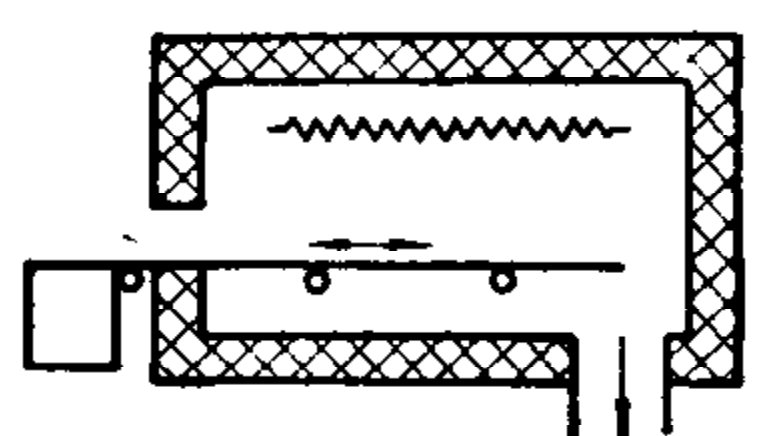
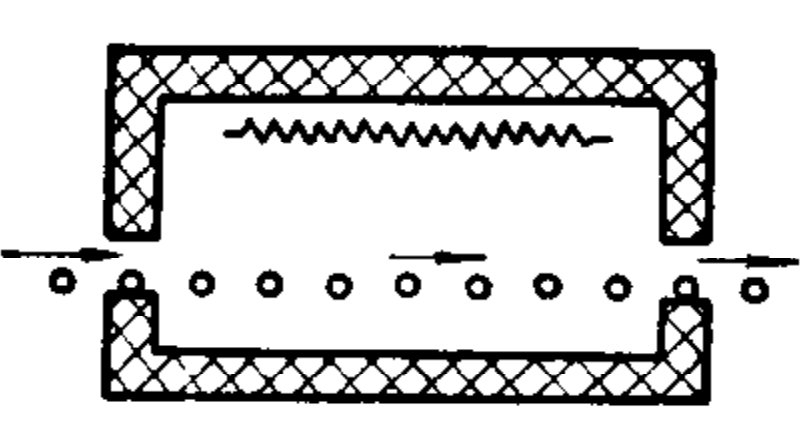
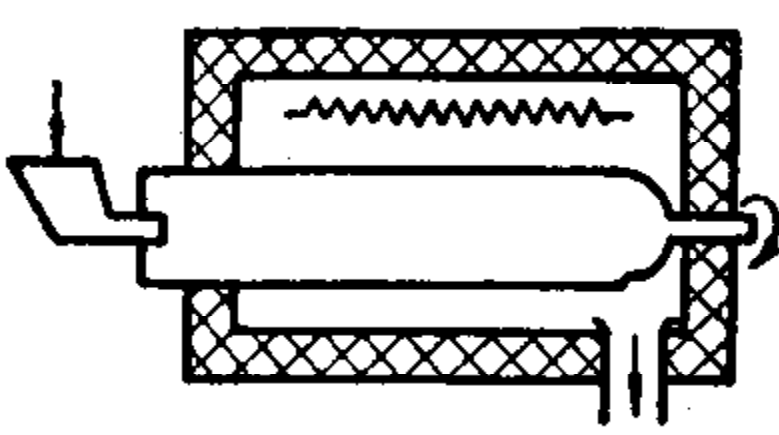
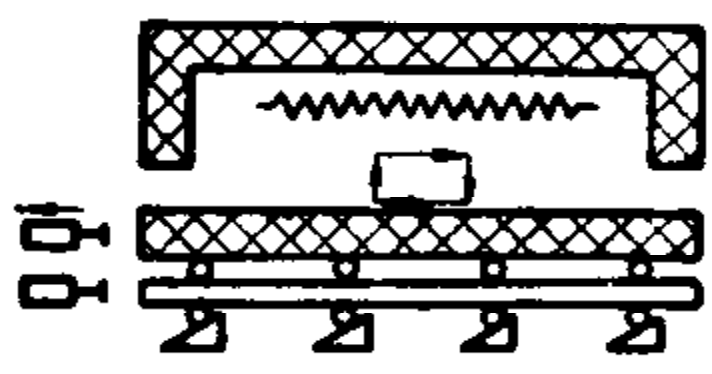
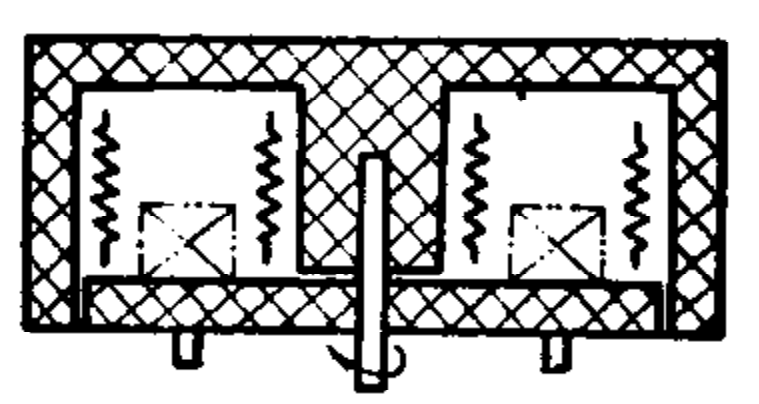
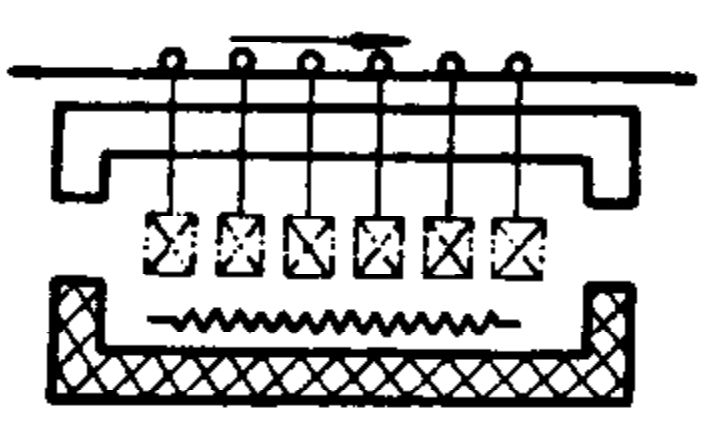
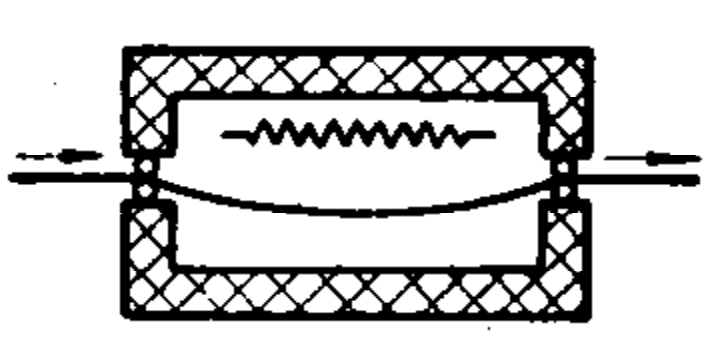
种 类	气氛或介质	主 要 特 点	主 要 用 途
间 接 加 热 式	普通电阻 加热炉	1. 具有发热部分简单、高精度温度控制容易等电加热和电阻加热的一般特点 2. 加热过程中炉料的氧化、脱碳较严重	一般热处理、加热和烧结, 如金属毛坯、铸锭的加热等
	控制气氛 电阻加热炉	1. 基本上可避免炉料的氧化和脱碳 2. 可进行气体化学热处理 3. 工件处理后的清洗和精加工工作量小, 可提高劳动生产率 4. 某些控制气氛易爆炸或对人体有一定危害	钢铁材料和某些金属材料的无氧化、不脱碳加热, 或进行化学热处理, 各种烧结和钎焊, 钨、钼等金属的加热以及某些电子工业用炉
	真空电阻 加热炉	1. 与控制气氛电阻加热炉相比, 能容易地保护炉料不与炉气发生反应 2. 炉料在真空中加热, 有除气和净化表面等作用 3. 操作条件好 4. 连续生产较困难	钛、锆等活泼金属、难熔金属和某些电合金的光亮退火、真空除气, 不锈钢或铝材钎焊, 高速钢、工具钢等的淬火, 真空渗碳, 真空烧结等
	电热浴炉	1. 炉料的加热速度快, 加热均匀性好 2. 容易实现局部加热 3. 结构简单, 不用耐热钢就可获得1300°C的炉温, 且在一定程度上能保护炉料不氧化 4. 操作条件较差, 工件被处理后要仔细清洗	工具、量具、模具等的热处理或化学热处理
直接加热式	各种气氛	1. 炉料或工件自身通电加热不需加热元件, 加热温度不受加热元件材料的限制 2. 加热速度极快 3. 对工件的几何形状有一定的要求	制造石墨电极、碳化硅等, 粉末冶金压制, 金属管、棒等的加热

表 34.2-2 普通电阻加热炉的常用炉型

炉型	箱 式	井 式	钟 罩 式	台 车 式
间 歇 作 业 式				
特 点 和 应 用 场 合	1. 结构简单, 通用性大, 适用于炉料品种多, 工艺变化频繁的场所 2. 进出炉料一般由人工操作, 大型炉配备进出料机构, 以减轻劳动强度 3. 适用于各种中、小工件的加热	1. 炉内工件可吊挂, 以减少长杆件的加热变形 2. 有吊车时装卸炉料比箱式炉方便 3. 适用于轴类, 丝杆、拉刀等长杆和薄壳筒的加热	1. 适用于被加热工件不便从炉口装入炉内的场合 2. 密封性较好 3. 一个炉罩可配合几个炉台, 节约装、出料时间, 提高热效率 4. 一般用于金属线材、带材, 或薄钢板卷材等的热处理	1. 工作装卸运送较方便 2. 适用于大型、重型件的加热, 大型容器的退火等



(续)

连	炉型	传 送 带 式	推 送 式	震 底 式
	结构示意图			
	特点和应用场合	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 炉料输送的连续性比推送式炉好,比震底式平稳</li> <li>2. 承载能力和适用炉温受传送带材料的限制</li> <li>3. 主要用于小型工件的淬火和中型工件的退火,回火等</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 传动机构比传送带式简单,承载能力大,可用于较高的炉温</li> <li>2. 料盘造成的热损失较大</li> <li>3. 主要用于齿轮、短轴等中、小型工件的热处理和粉末冶金烧结</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 热损失比传送带式、推送式的小</li> <li>2. 噪音较大,炉料在输送中有一定碰撞</li> <li>3. 主要用于螺栓、螺母、弹簧、垫圈等工件以及各种毛坯件的热处理</li> </ol>
续	说明		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 工件通常放在料盘或托架上输送</li> <li>2. 导轨可有滑动、滚动等型式</li> </ol>	震底机构有凸轮、气动、电磁等型式
	炉型	辊 底 式	滚 筒 式	步 进 式
	结构示意图			
业	特点和应用场合	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 适用的炉温受辊子材料的限制</li> <li>2. 炉温较高时,一般要用水冷却,热损失较大</li> <li>3. 用于管材、板材、棒材等的加热</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 加热较均匀,热损失较小</li> <li>2. 输送过程中工件有碰撞</li> <li>3. 适用于滚珠、钢球、销子等形状简单、体积较小的工件的成批和连续热处理</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 送料机构的耐热钢消耗量较小</li> <li>2. 可用于较重的负载和炉温较高的场合</li> <li>3. 主要用于坯锭加热和板簧、轴等长工件的热处理</li> </ol>
	说明	通过辊子转动输送工件	如炉罐内有螺旋筋,可通过炉罐转动来输送工件	
	炉型	回 转 炉 底 式	传 送 链 式	牵 引 式
式	结构示意图			
	特点和应用场合	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 送料机构的耐热钢消耗量较小</li> <li>2. 进出料可在同一方位或多工位,占地面积相对较小</li> <li>3. 适用于中型工件的加热,工件不能过长</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 工件是吊挂的,可减少加热变形</li> <li>2. 承载能力受挂钩材料强度的限制</li> <li>3. 适用于轴类工件的退火、回火以及烤漆和烘干等</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 加热较均匀</li> <li>2. 适用于线材、带材的加热</li> </ol>
	说明		工件吊挂在单轨上由传送链输送	

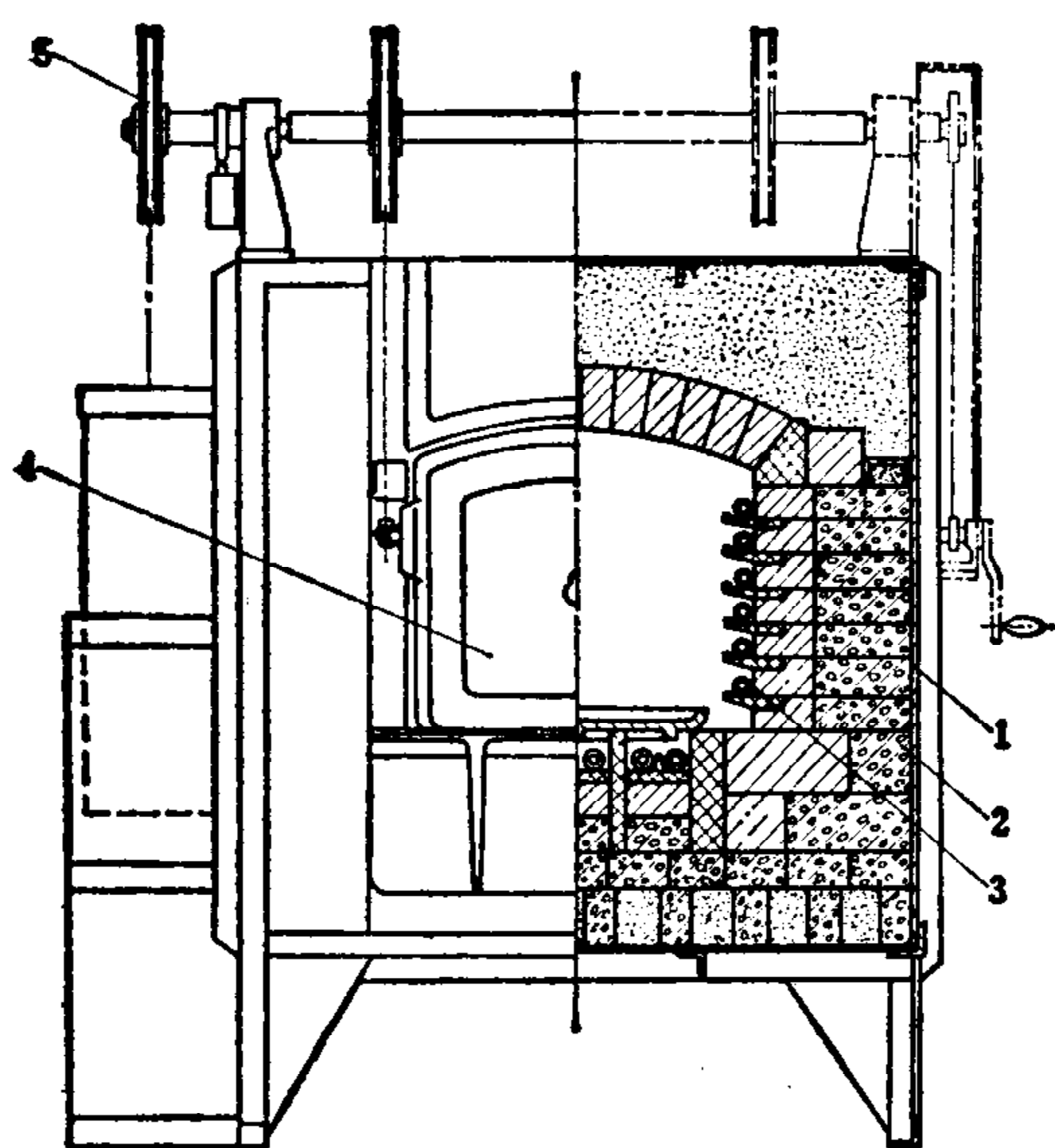


图 34·2-1 箱式电阻加热炉基本结构

1—炉壳 2—炉衬 3—加热元件  
4—炉门 5—炉门传动机构

部分。电控设备包括炉温控制装置和传动控制装置。

以箱式电阻加热炉为例，电阻加热炉的基本结构如图 34·2-1 所示。连续作业炉通常还具有进出料机构。

电阻加热炉的结构设计要点见表 34·2-3。

### 3.3 炉 衬

炉衬的一般组成见表 34·2-4。常用材料及其性能见表 34·2-5 和表 34·2-6。

设计时，先参考表 34·2-4 初步选定炉衬材料和厚度；然后由确定炉子功率时所进行的炉衬散热损失计算来校核上述选定炉衬的外壁表面温升和炉衬内部各层的温度。炉壁表面温升一般应不超过 60°C，高温炉不超过 90°C。炉衬内部各层的温度不得超过材料的最高允许使用温度。

炉衬砌筑时要注意：

(1) 不用受潮的耐火材料和隔热材料；

表 34·2-3 结构设计要点

设计要点	主要措施
尽可能减少热量损失	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 炉膛尺寸应尽量紧凑</li> <li>2. 炉衬应有良好的隔热性能，电炉外壁温升不超过规定值</li> <li>3. 尽可能减少易散热的孔洞和热短路</li> <li>4. 炉门或炉盖密封好，隔热性能好，尺寸合理</li> </ol>
保证炉内温度分布均匀	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 炉膛的形状和炉料在炉内的位置应有利于热交换</li> <li>2. 炉内各部分的功率分配和加热元件的布置要合理</li> <li>3. 炉门或炉盖密封好，隔热性能好，热变形小</li> <li>4. 对于炉膛长度或深度大、炉温均匀性要求高的炉子可考虑采用分段控温的方法</li> <li>5. 炉内气氛强迫流动的炉子，风速要适当，气流分布要均匀</li> </ol>
减小蓄热，空炉升温时间合理	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在满足机械强度的前提下，炉衬材料的体积密度要尽量小</li> <li>2. 在满足隔热性能的前提下，炉衬厚度要尽量小</li> <li>3. 对于间歇作业式炉，炉子功率可适当取大，以缩短空炉升温时间</li> </ol>
注意热膨胀，减少热变形，保证各零部件工作可靠	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 要合理选用材料，正确选择许用应力</li> <li>2. 受力大的构件应尽可能置于温度较低的部位</li> <li>3. 受热构件的设计要合理，以减少热变形，必要时可用水或风进行冷却</li> <li>4. 传动机构中，各运动构件的间隙要考虑热膨胀问题，炉衬要留膨胀缝</li> <li>5. 选用合适的加热元件材料，正确设计加热元件的单位表面负荷和结构</li> </ol>
操作、维修、运输方便	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 对于大型炉，必要时要考虑分段装配</li> <li>2. 应特别重视加热元件等易损零件的维修方便</li> <li>3. 当需要工人钻入炉内维修时，炉膛尺寸应足够大，以保证维修方便</li> </ol>



表 34.2-4 常用炉衬的组成

炉温 °C	耐火层		中间层		隔热层	
	材料	厚度 mm	材料	厚度 mm	材料	厚度 mm
<300	—	—	—	—	矿渣棉、珍珠岩或蛭石等	100 以下
300~650	体积密度 1g/cm <sup>3</sup> 的轻质粘土砖	90~113	—	—	硅藻土砖+石棉板; 或者硅藻土砖+蛭石+石棉板	100~185
650~950	同上	90~113	—	—		120~235
1200	体积密度为 1.3 g/cm <sup>3</sup> 的轻质粘土砖	90~113	体积密度为 0.8~0.6 g/cm <sup>3</sup> 的轻质粘土砖	113	硅藻土砖+蛭石+石棉板	185~265
1350	重质高铝砖	65	同上	113		235~300
1600	重质高铝砖或刚玉砖	50~113	泡沫氧化铝砖	113	硅酸铝纤维制品或泡沫高铝砖	185~265

注: 1. 功率较大的炉子和连续式炉的炉衬厚度取较大值。

2. 炉底的炉衬厚度取较大值。

表 34.2-5 常用耐火材料的主要性能

材 料		体积密度 $\gamma$ g/cm <sup>3</sup>	耐火度 (不低于)°C	常温耐 压强度 kg/cm <sup>2</sup>	最高使 用温度 °C	导热系数 $\lambda$ kcal/m·h·°C	比 热 $C$ kcal/kg·°C
轻 质 粘 土 砖	QN-1.3a	1.3	1710	45	1300	$0.35+0.3 \times 10^{-3} \theta_p$	$0.2+0.063 \times 10^{-3} \theta_p$
	QN-1.3b	1.3	1670	35	1300	$0.35+0.3 \times 10^{-3} \theta_p$	$0.2+0.063 \times 10^{-3} \theta_p$
	QN-1.0	1.0	1670	30	1250	$0.25+0.22 \times 10^{-3} \theta_p$	$0.2+0.063 \times 10^{-3} \theta_p$
	QN-0.8	0.8	1670	20	1250	$0.18+0.37 \times 10^{-3} \theta_p$	$0.2+0.063 \times 10^{-3} \theta_p$
	QN-0.4	0.4	1670	6	1150	$0.08+0.14 \times 10^{-3} \theta_p$	$0.2+0.063 \times 10^{-3} \theta_p$
普通粘土砖		1.8~2.2	1610~1730	125~150	1400	$0.6+0.55 \times 10^{-3} \theta_p$	$0.2+0.063 \times 10^{-3} \theta_p$
普通高铝砖		2.3~2.75	1750~1790	400	1500	$1.8+1.6 \times 10^{-3} \theta_p$	$0.2+0.056 \times 10^{-3} \theta_p$
泡沫高铝砖		<0.8	>1770	6~30	1150~1300	—	$0.2+0.056 \times 10^{-3} \theta_p$
刚玉制品		2.6~3.4	>1900	>500	1800	$1.8+1.6 \times 10^{-3} \theta_p$	$0.19+0.1 \times 10^{-3} \theta_p$
泡沫氧化铝砖		<0.8	>1900	6~30	1350	—	$0.19+0.1 \times 10^{-3} \theta_p$
石墨制品		1.6	>3000	200~300	2000	—	—
碳化硅制品		2.4	2000~2100	—	1500	1000°C 时, 9.2; 1200°C 时 8.0	$0.23+0.035 \times 10^{-3} \theta_p$

注:  $\theta_p$ —平均温度 °C。

表 34-2-6 常用隔热材料的主要性能

材 料	体 积 密度 $\gamma$ g/cm <sup>3</sup>	导 热 系 数 $\lambda$ kcal/m·h·°C	最高使用温度 °C
硅藻土砖	0.5	$0.095+0.125 \times 10^{-3}\theta_p$	900
硅藻土砖	0.55	$0.08+0.21 \times 10^{-3}\theta_p$	900
硅藻土砖	0.6	$0.125+0.27 \times 10^{-3}\theta_p$	900
硅藻土砖	0.7	$0.17+0.23 \times 10^{-3}\theta_p$	900
石 棉 绒 (优质)	0.34	$0.075+0.2 \times 10^{-3}\theta_p$	500
石 棉 板	0.9~ 1.0	$0.14+0.15 \times 10^{-3}\theta_p$	500
矿 渣 棉	0.3	$0.06+0.135 \times 10^{-3}\theta_p$	750
玻 璃 棉	0.25	$0.032+0.22 \times 10^{-3}\theta_p$	600
膨胀珍珠 岩散料	0.04~ 0.12	0.06~0.053(常温时)	1000
膨胀珍珠 岩制品	0.2~ 0.35	0.038~0.07(常温时)	650~ 1000
膨胀蛭石	0.25	$0.062+0.22 \times 10^{-3}\theta_p$	1100
硅 酸 铝 纤维	0.06~ 0.13	0.1~0.2(600~800°C时)	1000
硅酸铝纤 维制品	0.3	$0.05+1 \times 10^{-4}\theta_p$	1000

注:  $\theta_p$ —平均温度 °C。

(2) 严格保证砌体各部分尺寸符合要求, 砌砖要平整、垂直;

- (3) 不同层不同行的相邻的砖要互相错开;
- (4) 砖缝的大小要符合要求, 一般炉顶砖缝不得大于 1.5 毫米, 炉墙和炉底砖缝不大于 2 毫米;
- (5) 较大的炉子应留膨胀缝(一般每米炉衬留 6 毫米);
- (6) 砌砖用灰浆的成分和性能应严格符合要求, 隔热填料要填实。

### 3.4 炉子功率的确定

确定炉子功率的方法有热平衡法和各种估算法。热平衡法较准确, 通用性大, 并能校核炉衬设计; 各种估算法虽然简便, 但都局限于一定的范围。

#### 3.4.1 热平衡法

热平衡法是根据炉子的热量收入和支出相平衡的原理进行计算的。为便于计算, 作了如下简化:

(1) 连续作业式炉的升温阶段在整个工作中占的比例很小; 每小时加热的炉料量大致相等; 炉内各点的温度基本稳定。因此, 确定炉子功率时可按热稳定状态和按小时计算其需要的热量。

(2) 间歇作业式炉按加热阶段确定炉子功率, 并按额定炉温下的热稳定状态进行计算。

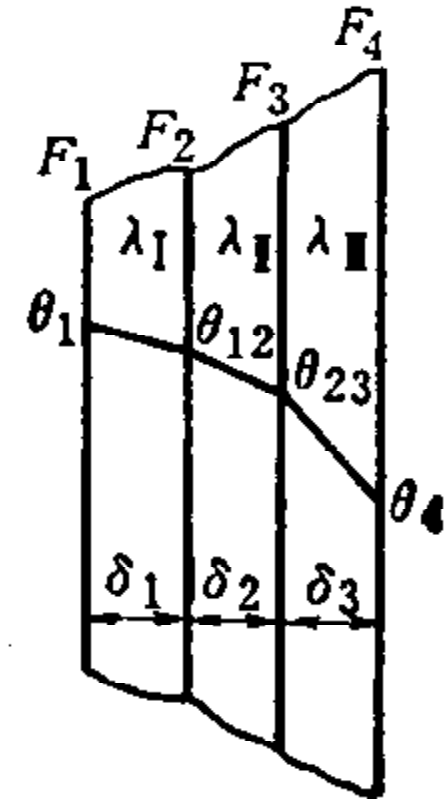
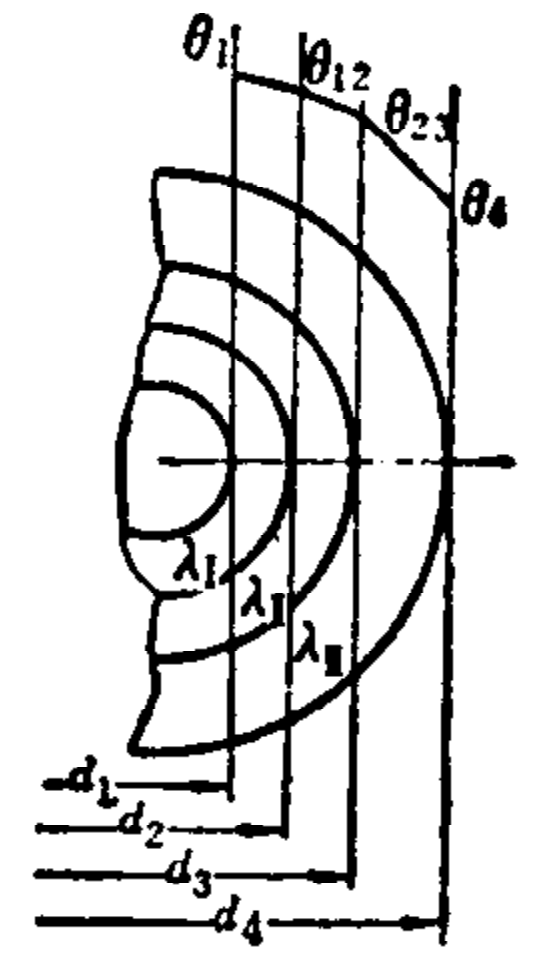
用热平衡法确定炉子功率的计算公式见表 34-2-7。

对于有加热、保温等多热区的炉子, 应分别求出各热区的功率, 其总和即为炉子总功率。

表 34-2-7 热平衡计算确定炉子功率

原 始 数 据				
生产率 $A_i$ (kg/h) 或一次装炉量 $G_i$ (kg); 额定炉温 $\theta_n$ (°C); 加热时间 $t_j$ (h); 炉料加热前的温度 $\theta_{1i}$ (°C); 炉料加热后的温度 $\theta_{2i}$ (°C); 环境温度 $\theta_w$ (°C); 每小时加热辅助件的重量(包括料盘、料筐等) $A_f$ (kg/h) 或辅助件的一次装炉量 $G_f$ (kg); 辅助件加热前的温度 $\theta_{1f}$ (°C); 辅助件加热终了温度 $\theta_{2f}$ (°C); 炉子和炉衬的基本尺寸; 炉衬材料及其性能				
计 算 程 序 和 公 式				
计算项目	符 号	单 位	公 式	说 明
加热炉料的热量	$Q_i$	$\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$	连续式炉: $Q_i = A_i c_{pi} (\theta_{2i} - \theta_{1i})$ 间歇式炉: $Q_i = \frac{G_i}{t_j} c_{pi} (\theta_{2i} - \theta_{1i})$	$c_{pi}$ —炉料的平均比热 kcal/kg·°C
加热辅助件的热量	$Q_f$	$\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$	连续式炉: $Q_f = A_f c_{pf} (\theta_{2f} - \theta_{1f})$ 间歇式炉: $Q_f = \frac{G_f}{t_j} c_{pf} (\theta_{2f} - \theta_{1f})$	$c_{pf}$ —辅助件的平均比热 kcal/kg·°C

(续)

计算项目	符 号	单 位	公 式	说 明
平壁炉衬的平均面积	$F_s$ ( $=F_I, F_{II}, F_{III} \dots$ )	$m^2$	$\frac{F_2}{F_1} \leq 2 \text{ 时: } F_I = \frac{1}{2}(F_1 + F_2)$ $\frac{F_2}{F_1} > 2 \text{ 时: } F_I = \sqrt{F_1 \cdot F_2}$ $F_{II}, F_{III}$ 的计算类推	
各层炉衬的平均导热系数	$\lambda_s$ ( $=\lambda_I, \lambda_{II}, \lambda_{III} \dots$ )	$\frac{kcal}{m \cdot h \cdot ^\circ C}$	查表 34.2-5 和表 34.2-6; 求 $\lambda$ 时, $\theta_p = \frac{1}{2}(\theta_1 + \theta_{12})$ ; $\lambda_{II}, \lambda_{III}$ 的计算类推	$F_1, F_2, F_3, F_4$ —各层炉衬的侧面积 $m^2$ $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ —炉衬厚度 $m$ $\theta_1, \theta_{12}, \theta_{23}, \theta_4$ —各层炉衬界面温度 $^\circ C$ 一般取 $\theta_1 = \theta_n$ 计算时 $\theta_{12}, \theta_{23}, \theta_4$ 先要假定, 以后再验算
炉壁外表面的放热系数	$\alpha_w$	$\frac{kcal}{m^2 \cdot h \cdot ^\circ C}$	查表 34.2-8	表中炉壁温度即上图 $\theta_4$
炉衬散热损失	$Q_{s1}$	$\frac{kcal}{h}$	平壁: $Q_{s1} = \frac{\theta_n - \theta_w}{\frac{\delta_1}{\lambda_I F_I} + \frac{\delta_2}{\lambda_{II} F_{II}} + \frac{\delta_3}{\lambda_{III} F_{III}} + \frac{1}{\alpha_w F_4}}$ 圆筒壁: $Q_{s1} = \frac{\pi H (\theta_n - \theta_w)}{\frac{1}{2\lambda_I} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_{II}} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{2\lambda_{III}} \ln \frac{d_4}{d_3} + \frac{1}{\alpha_w d_4}}$	平壁图见上, 圆筒壁图如下 
界面温度验算	$\theta_s$ ( $=\theta_{12}, \theta_{23} \dots$ )	$^\circ C$	平壁: $\theta_{12} = \theta_1 - \frac{Q_{s1} \delta_1}{\lambda_I F_I}$ $\theta_{23}, \theta_4$ 依此类推 圆筒壁: $\theta_{12} = \theta_1 - \frac{Q_{s1}}{\pi H} \cdot \frac{1}{2\lambda_I} \ln \frac{d_2}{d_1}$ $\theta_{23}, \theta_4$ 依此类推	一般要求验算得出的各界面温度与计算平均导热系数时的假定值之差小于 $\pm 10^\circ C$ , 不然就得重新假定和计算 $Q_{s1}$ , 直到验算符合要求
遮蔽系数	$\phi$	—	查表 34.2-9	

(续)

计算项目	符 号	单 位	公 式	说 明
炉门辐射热损失	$Q_{s2}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$	$Q_{s2}=4.9\left[\left(\frac{T_n}{100}\right)^4-\left(\frac{T_w}{100}\right)^4\right]\phi FC$	$T_n$ ——额定炉温 K $T_w$ ——环境温度 K $F$ ——炉门开启部分面积 $\text{m}^2$ $C$ ——炉门启闭周期中开启时间所占的比例
计算热损失的总和	$Q_{sj}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$	$Q_{sj}=Q_s+Q_{s1}+Q_{s2}+\dots$	不同炉子的热损失项目是不同的,应按具体热损失情况逐项计算
附加热损失	$Q_{s3}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$	简单封闭式炉: $(0.2\sim 0.3)Q_{sj}$ 复杂机械化炉: $(0.25\sim 0.35)Q_{sj}$	
总的热损失	$\Sigma Q_s$	$\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$	$\Sigma Q_s=Q_{sj}+Q_{s3}$	
炉子功率	$P$	kW	$P=\frac{K(Q_s+\Sigma Q_s)}{860}$	$K$ ——系数,一般取1.2~1.5,间歇式炉或小型炉取较大值

注: 炉外壁温度  $\theta_4$  一般为  $60\sim 80^\circ\text{C}$ , 高温炉不超过  $110^\circ\text{C}$ 。 $\theta_{12}$ 、 $\theta_{23}$  值不得超过该层炉衬材料的最高使用温度。

表 34-2-8 炉壁外表面面对空气的放热系数  $\alpha_w$  ( $\text{kcal}/\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}$ )

炉壁温度 $^\circ\text{C}$	垂直壁	水 平 壁		炉壁温度 $^\circ\text{C}$	垂直壁	水 平 壁	
		面向上	面向下			面向上	面向下
25	7.7	8.6	6.5	80	11.5	13.1	9.3
30	8.2	9.2	6.9	90	12.1	13.8	9.8
35	8.8	10.0	7.2	100	12.5	14.4	10.2
40	9.1	10.3	7.4	125	14.0	15.9	11.4
45	9.3	10.6	7.6	150	15.1	17.1	12.4
50	9.9	11.3	8.1	200	17.5	19.7	14.6
60	10.5	12.0	8.5	300	23.4	25.9	20.0
70	11.1	12.7	9.1	400	30.5	33.1	26.9

注: 此表按环境温度  $20^\circ\text{C}$  求得。

表 34-2-9 遮蔽系数  $\phi$  值

炉口深度 mm	炉口 宽度 mm	炉 口 高 度 mm				
		150	250	450	600	750
115	150	0.55	0.63	0.66	0.68	0.69
	300	0.63	0.70	0.73	0.76	0.78
	600	0.68	0.76	0.80	0.82	0.84
	900	0.71	0.79	0.83	0.85	0.87
	1200	0.72	0.81	0.85	0.87	0.89
	1500	0.73	0.82	0.86	0.89	0.91
230	150	0.43	0.49	0.52	0.55	0.56
	300	0.49	0.56	0.60	0.63	0.64
	600	0.55	0.63	0.67	0.70	0.72
	900	0.57	0.66	0.70	0.73	0.75
	1200	0.59	0.68	0.72	0.76	0.78
	1500	0.61	0.69	0.74	0.77	0.79
345	150	0.36	0.43	0.45	0.47	0.49
	300	0.42	0.48	0.52	0.55	0.57
	600	0.47	0.55	0.59	0.62	0.64
	900	0.50	0.58	0.63	0.66	0.69
	1200	0.52	0.60	0.65	0.68	0.71
	1500	0.53	0.61	0.66	0.70	0.72
460	150	0.31	0.36	0.39	0.42	0.43
	300	0.36	0.43	0.46	0.49	0.51
	600	0.42	0.49	0.53	0.56	0.58
	900	0.45	0.52	0.57	0.60	0.62
	1200	0.47	0.55	0.59	0.63	0.65
	1500	0.48	0.56	0.61	0.64	0.67

注: 1. 尺寸未包括在表中的炉口, 其  $\phi$  值可按比例求得, 例如:  $2400 \times 2400 \times 460$  mm 的炉口, 可按  $600 \times 600 \times 115$  mm 的求。  
2. 圆形炉口可近似地以其直径作边长按正方形炉口求。

### 3.4.2 按炉膛容积估算炉子功率

据经验统计, 普通箱式和井式电阻加热炉的炉膛容积  $V$  (米<sup>3</sup>) 和炉子功率  $P$  (千瓦) 间存在如下关系, 要求升温快的取较大值。

炉温  $1200^{\circ}\text{C}$ :  $P = (100 \sim 150) \sqrt[3]{V^2}$  kW;  
 炉温  $950^{\circ}\text{C}$ :  $P = (75 \sim 100) \sqrt[3]{V^2}$  kW;  
 炉温  $650^{\circ}\text{C}$ :  $P = (50 \sim 75) \sqrt[3]{V^2}$  kW;  
 炉温  $400^{\circ}\text{C}$ :  $P = (35 \sim 50) \sqrt[3]{V^2}$  kW;

这些关系也可用图 34-2-2 来表示。其中  $V$  按炉膛名义尺寸计算。

上述关系仅适用于普通箱式炉和井式炉, 对其

他型式的炉子或加热某些特殊工件的炉子, 只能供参考。

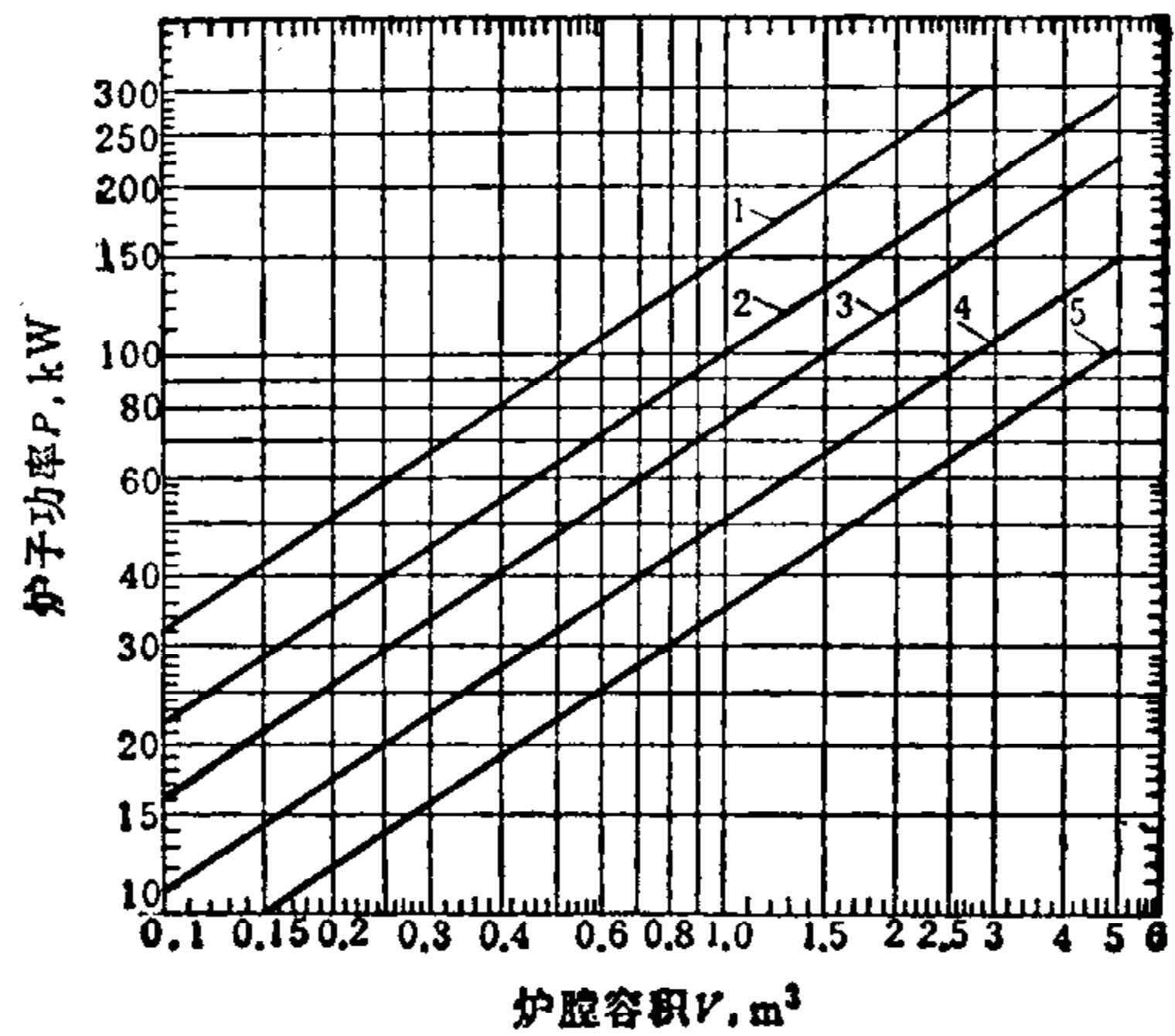


图 34-2-2 炉膛容积和炉子功率的关系

1— $P = 150 \sqrt[3]{V^2}$ ; 2— $P = 100 \sqrt[3]{V^2}$ ;  
 3— $P = 75 \sqrt[3]{V^2}$ ; 4— $P = 50 \sqrt[3]{V^2}$ ;  
 5— $P = 35 \sqrt[3]{V^2}$

注: 炉膛容积  $V$  按炉膛名义尺寸计算: 箱式炉按炉口宽度(m), 炉口高度(m), 炉膛深度(m)计算; 井式炉按炉口直径(m)和炉膛深度(m)计算。

## 3.5 加热元件

加热元件是电阻加热炉最重要部件之一。在设计、制造和使用过程中都应充分重视。在设计中要正确选用加热元件材料, 合理设计元件的尺寸和结构。制造时要保证质量, 采用正确的焊接方法, 尽量减少表面划伤或其他局部损伤。使用时应避免碰撞和强烈的振动。

### 3.5.1 材料和结构型式

加热元件所用电热材料的种类和主要性能见表 34-2-10、表 34-2-11 和表 34-2-12。另外, 可参见本手册第 13 篇《特种电工材料》的电热材料章。

为节约用镍, 目前推广采用铁铬铝合金。铁铬铝合金与镍铬合金相比, 具有使用温度高, 电阻率大, 电阻温度系数小, 价格便宜等优点。但高温强度低, 加工性能稍差, 使用后冷态脆性大, 在设计和使用中需加以注意。

碳化硅和二硅化钼加热元件有许多优点, 如使用温度比合金材料的高, 功率密度可取得较大, 可在较小的炉膛内布置较大的功率, 安装和更换都较方



表 34.2-10 常用电热材料的主要性能

材料种类	密度 g/cm <sup>3</sup>	电 阻 率 $\rho_{20}$ $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	熔 点 °C	最高工作温度 °C
1Cr13Al4	7.4	1.26±0.08	1450	1100
0Cr13Al6Mo2	7.2	1.4±0.10	1500	1300
0Cr25Al5	7.1	1.4±0.10	1500	1300
0Cr27Al7Mo2	7.1	1.5±0.10	1520	1400
Cr20Ni80	8.4	1.09±0.05	1400	1150
Cr15Ni60	8.2	1.12±0.05	1390	1050
金 属 材 料				
非 金 属 材 料				
碳化硅元件	3.12~3.18	—	—	1500
二硅化钼元件	5.5	0.25	~2000	1700

表 34.2-11 常用电热材料在不同温度下的电阻率修正系数  $C_t = \frac{\rho_t}{\rho_{20}}$

材 料	温 度 °C																	
	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700
1Cr13Al4	1.000	1.004	1.013	1.027	1.041	1.062	1.090	1.114	1.126	1.135	1.142							
0Cr13Al6Mo2	1.000	1.001	1.003	1.007	1.014	1.028	1.048	1.053	1.057	1.060	1.063	1.066	1.069					
0Cr25Al5	1.000	1.002	1.007	1.013	1.022	1.036	1.056	1.063	1.068	1.072	1.076	1.079	1.082					
0Cr27Al7Mo2	1.000	0.997	0.994	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992				
Cr20Ni80	1.000	1.006	1.016	1.024	1.031	1.035	1.026	1.019	1.017	1.021	1.028	1.038						
Cr15Ni60	1.000	1.013	1.029	1.046	1.062	1.074	1.078	1.083	1.089	1.097	1.105							
二硅化钼元件	1.00	1.40	2.00	2.60	3.32	4.08	4.96	5.84	6.80	7.76	8.80	9.76	10.80	11.84	12.84	13.92	14.92	16.00
碳化硅元件	在 900°C 以下,电阻率随温度的增高而变小; 900°C 以上,随温度的增高而变大																	

表 34.2-12 常用电热材料在各种气氛中的最高工作温度 °C

气 氛	铁 铬 铝 合 金		镍 铬 合 金	碳化硅元件	二硅化钼元件
	0Cr13Al6Mo2 0Cr25Al5	0Cr27Al7Mo2	Cr20Ni80		
空气	1300	1400	1150	1500	1700
氢	1250	1350	1150	1200	1400
氨分解气	1150	1250	1100	1200	1400
氨燃烧气	1000	1000	1100	1200	1400
氮	950	950	1100	1200	1500
吸热式气体	1100	1200	950	1350	1350
放热式气体	1150	1250	1050	1350	1350
含硫氧化性气体	1050	1150	不适宜	1350	1600

便,且可以热炉更换,化学稳定性较好等。但它们的使用寿命一般不及合金材料的长,价格比较贵,使用时还要配备调压设备。碳化硅元件随着使用时间的增加,电阻率增加较快。二硅化钼元件的电阻温度系数很大,热稳定性差,冷态很脆。这一些在设计和使用时应注意。目前,非金属加热元件主要用于工作温度超出金属加热元件允许范围的高温炉和某些特殊场合。

金属加热元件的结构形式见表 34.2-13。为使元件在高温下有足够的强度,避免倒塌或下垂,元件的尺寸比例要符合该表的规定。

碳化硅和二硅化钼加热元件都由元件制造厂制成一定形状的产品供应。最常见的碳化硅加热元件有棒形和螺旋管形两种。二硅化钼加热元件一般制成“U”形。

### 3.5.2 加热元件温度和单位表面负荷

在加热元件设计中,所谓加热元件温度是指其长期工作的最高温度。对普通电阻加热炉来说,这是决定加热元件使用寿命的重要因素。在一定的工作条件下,加热元件温度主要取决于它的单位表面负荷(下简称表面负荷)。

表 34.2-13 金属加热元件的结构形式

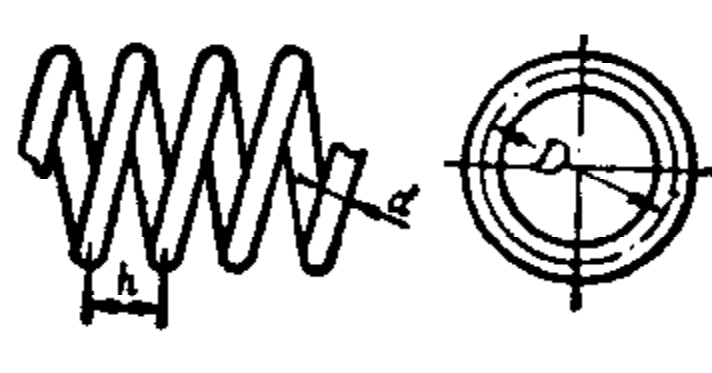
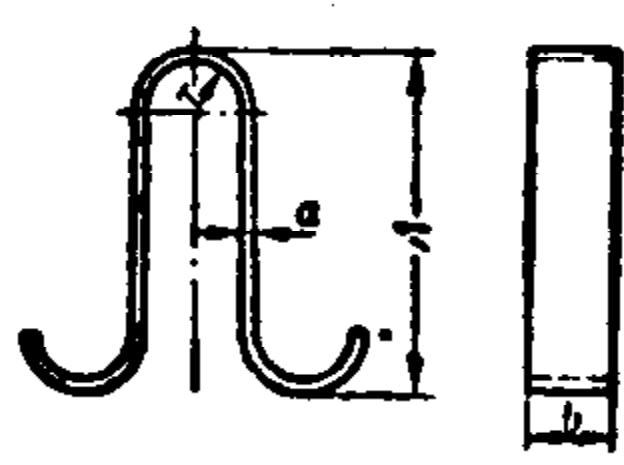
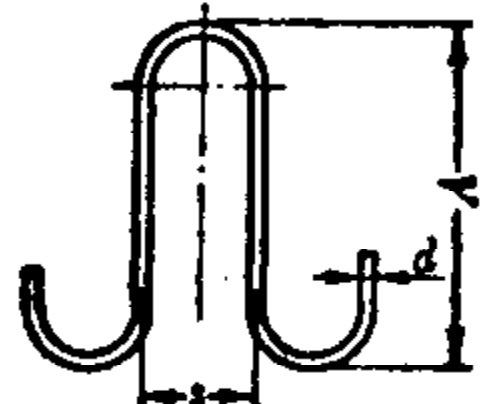
种类	结 构	尺 寸 关 系	
		铁 铬 铝 合 金	镍 铬 合 金
线材螺旋形		$h \geq 2d$ 炉温 $< 700^\circ\text{C}$ : $D = (7 \sim 10)d$ $700 \sim 1000^\circ\text{C}$ : $D = (6 \sim 8)d$ $> 1000^\circ\text{C}$ : $D = (5 \sim 7)d$	$h \geq 2d$ $D = (6 \sim 12)d$
带材波形		$m = \frac{b}{a} = 5 \sim 15$ (一般取 10) $r = (4 \sim 8)a$ $A < 80a$ 当 $m = \frac{b}{a} > 10$ 时,为防止高温时元件倒伏,可加辅助挂钩或支撑。	$r \geq 3a$ 平放炉底时: $A = 100 \sim 150 \text{ mm}$ 挂在炉壁上时: $A = 200 \sim 300 \text{ mm}$
线材波形		$S > 3d$ $A = 150 \sim 250 \text{ mm}$	$S > 3d$ $A = 200 \sim 300 \text{ mm}$

表 34.2-14 辐射加热元件的温度和允许表面负荷

加热元件材料	Cr20Ni80	1Cr13Al4	0Cr25Al5 0Cr13Al6Mo2	0Cr27Al7Mo2	碳化硅 元 件	二硅化 钼 元 件	
推荐最高工作温度 °C	1100	1000	1200	1350	1450	1700	
允 许 表 面 负 荷 W/cm <sup>2</sup>							
炉 温 °C	600		1.8~2.2				
	700		1.6~2.0				
	800	1.4~2.0	1.0~1.6	1.8~2.2			
	900	1.2~1.6	0.8~1.0	1.4~2.0			
	1000	0.8~1.2		1.0~1.6	1.8~2.4		
	1100			0.8~1.0	1.2~1.8	25	
	1200				1.0~1.5	20	
	1300				0.8~1.0	13	14~22
	1400					5	11~18
	1500						9~15
	1600						6~11

表面负荷是加热元件单位面积上所发出的功率数,以瓦/厘米<sup>2</sup>为单位。在一定的工作条件下,如表面负荷取得小,则元件的温度就低,而所用材料则多;相反,如表面负荷取得大,则元件温度就高,所用材料则少。表面负荷取得过大时,会使元件温度超过允许范围,元件寿命大大降低。

在加热元件温度不超过允许值的情况下,所允许的最大表面负荷称为允许表面负荷。它和加热元件材料、散热条件(包括炉温、炉料的尺寸和黑度、加热元件的结构和布置、加热元件的敞露程度等)有关,也和炉内热交换方式有关。以辐射热交换为主的加热元件温度和允许表面负荷值可以参考表 34.2-14。

在炉气强迫循环式和加热气体的电阻加热炉中,加热元件的散热以对流热交换为主。虽然这类炉子的加热温度一般不高(<700°C),但是加热元件由于受到气流的吹拂,承受较大的机械负荷,并且其局部受到遮蔽、气流吹拂不到的部位温度会比较高,所以加热元件的温度也不宜取高。通常为:加热温度  $\theta_q \leq 300^\circ\text{C}$  时,加热元件温度  $\theta_j \leq 500^\circ\text{C}$ ; 加热温度  $\theta_q = 400 \sim 500^\circ\text{C}$  时,加热元件温度  $\theta_j$  取  $600^\circ\text{C}$ ; 加热温度  $\theta_q = 700^\circ\text{C}$  时,  $\theta_j$  取  $800^\circ\text{C}$ 。

以对流热交换为主的加热元件的允许表面负荷  $[W]$ ,可根据气流速度  $v$ 、加热温度  $\theta_q$  和加热元件温度  $\theta_j$ ,按图 34.2-3 查得。使用此图时要注意:

(1) 加热元件的允许表面负荷值  $[W]$  等于图中对流 ( $W_o$ ) 和辐射 ( $W_R$ ) 两部分之和,即  $[W] = W_o + W_R$ 。图中  $W_R$  有两个值,若加热元件与被加热炉料之间屏蔽少则  $W_R$  取较大值,反之则取较小值。

(2) 图中尺寸  $d$  对于线材加热元件即为线径,对于带材则为当量直径  $d_e$ 。对于  $m=10$  的带材,若其宽面与气流方向平行,则  $d_e = 0.22l$ ; 若宽面与气流方向垂直,则  $d_e = 0.32l$ ; 其中  $l$  为带材截面的周长。

(3) 此图是在加热元件被自由吹拂的情况下得出的。自由吹拂是指在气流流过的截面上除了线材或带材的发热部分以外没有支撑结构和其他东西的阻挡。因此,对于绕在陶瓷管上的线材螺旋形加热元件使用此图时应作如下修正:当螺旋节距  $S > 3d$  时,允许表面负荷取图中查得值的 80%;  $S < 3d$  时取 70%,其中  $d$  为线径。

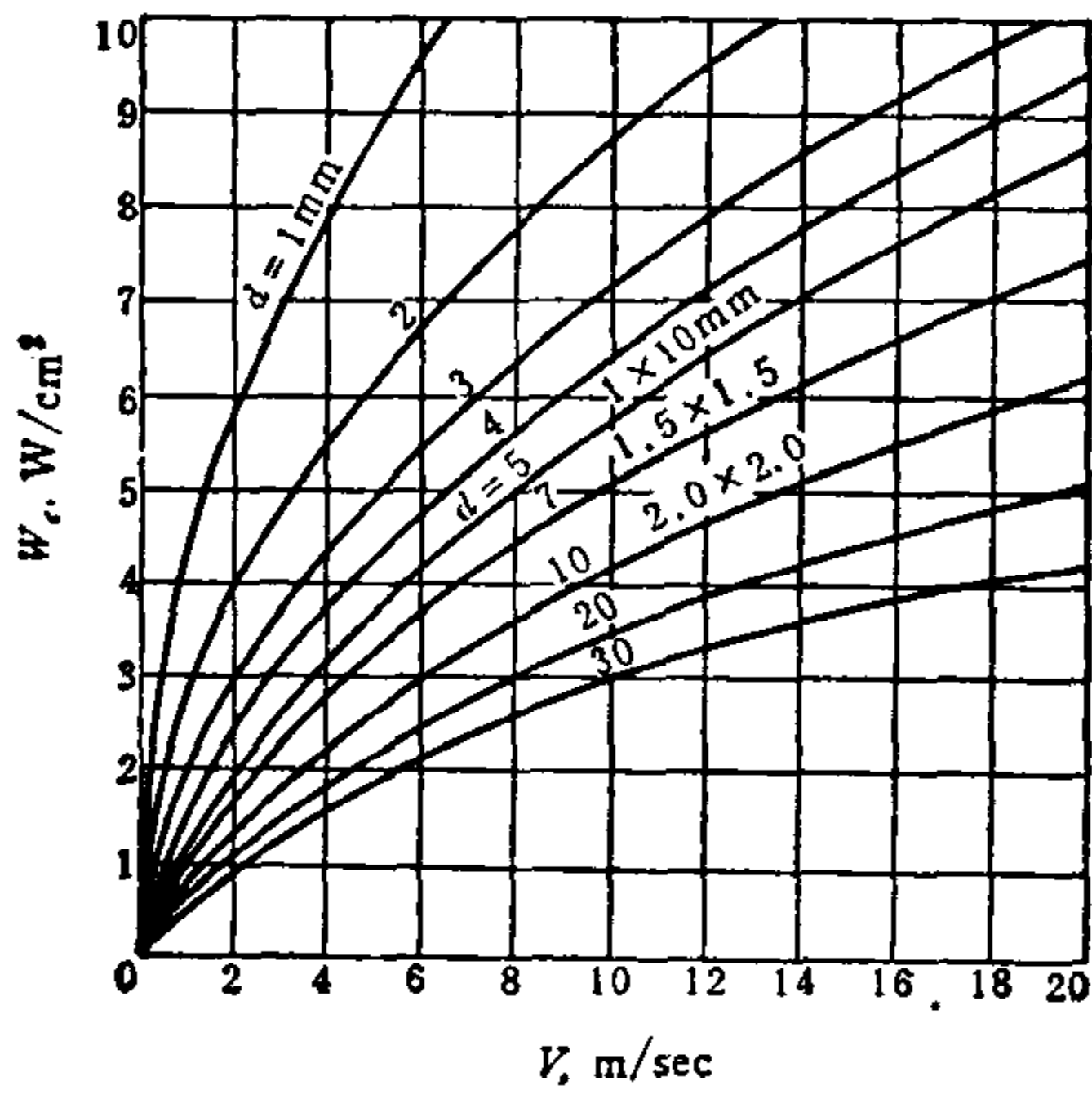
(4) 此图适用于加热介质是空气的情况,若加热其他气体时,则此图仅能作参考。

### 3.5.3 金属加热元件尺寸的确定

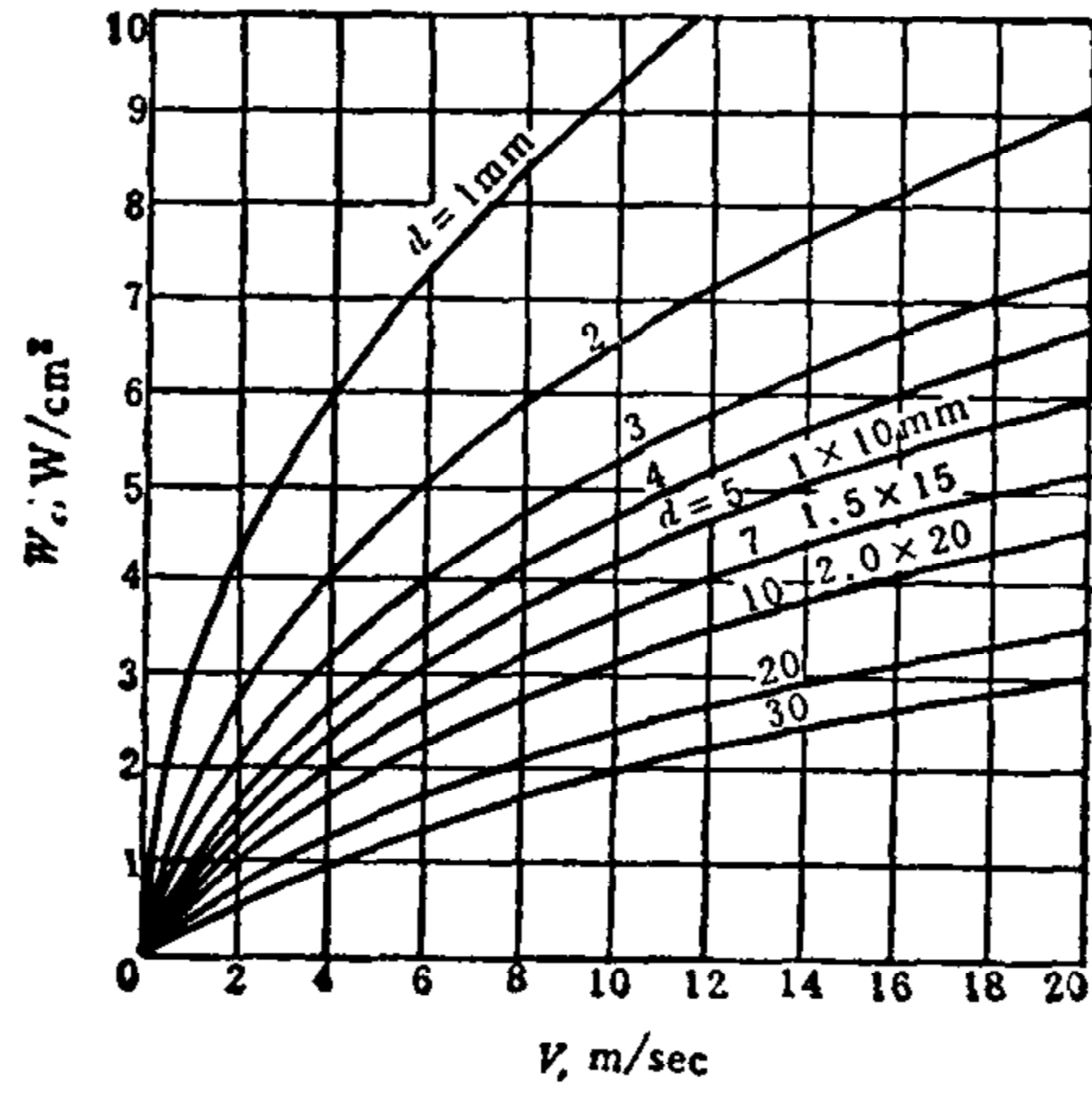
加热元件的尺寸应满足如下要求:

(1) 保证加热元件有一定的电阻值,在额定电压下能产生额定功率。

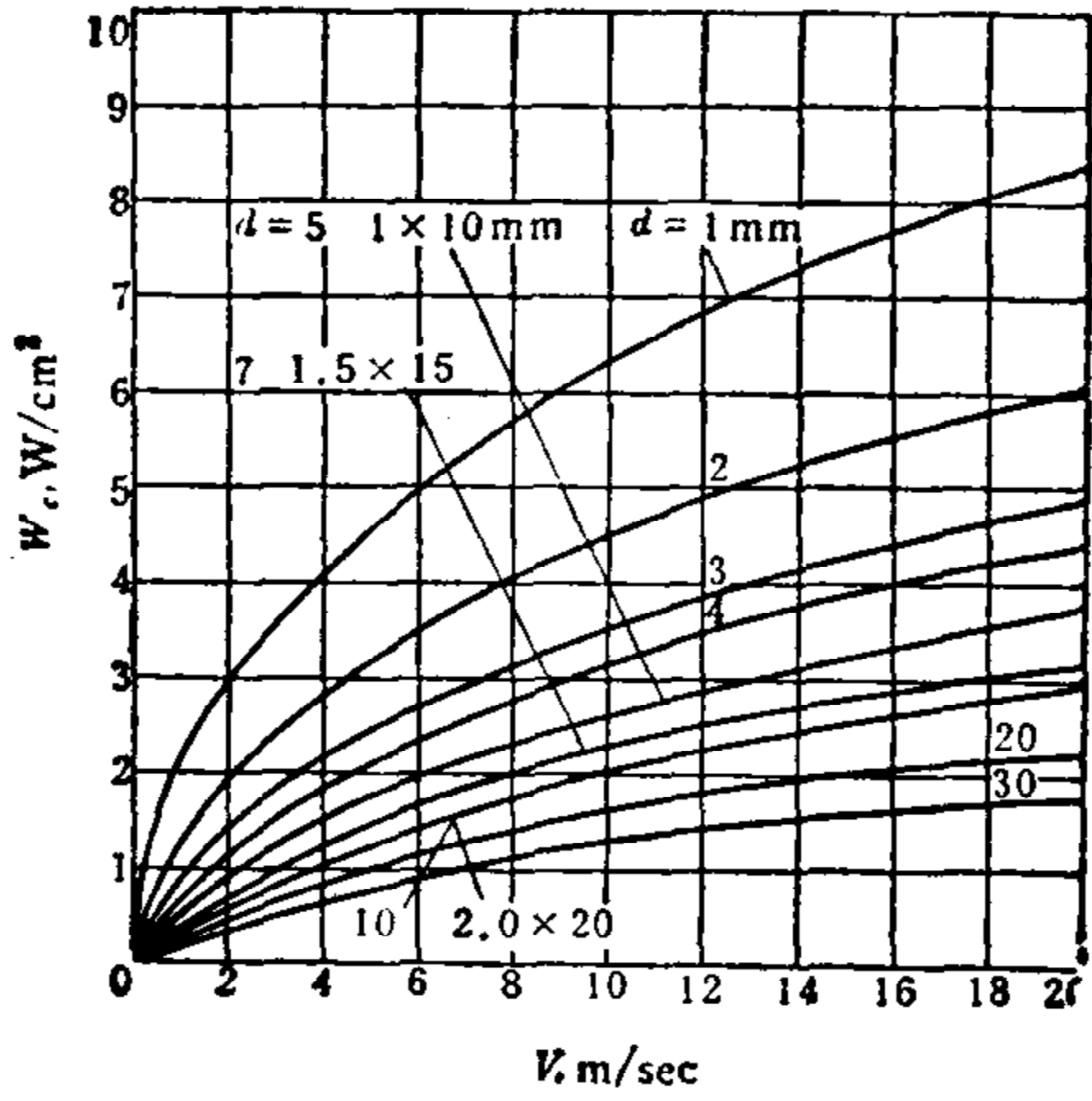
(2) 保证加热元件有足够的表面积,使其表面负荷不超过允许值。



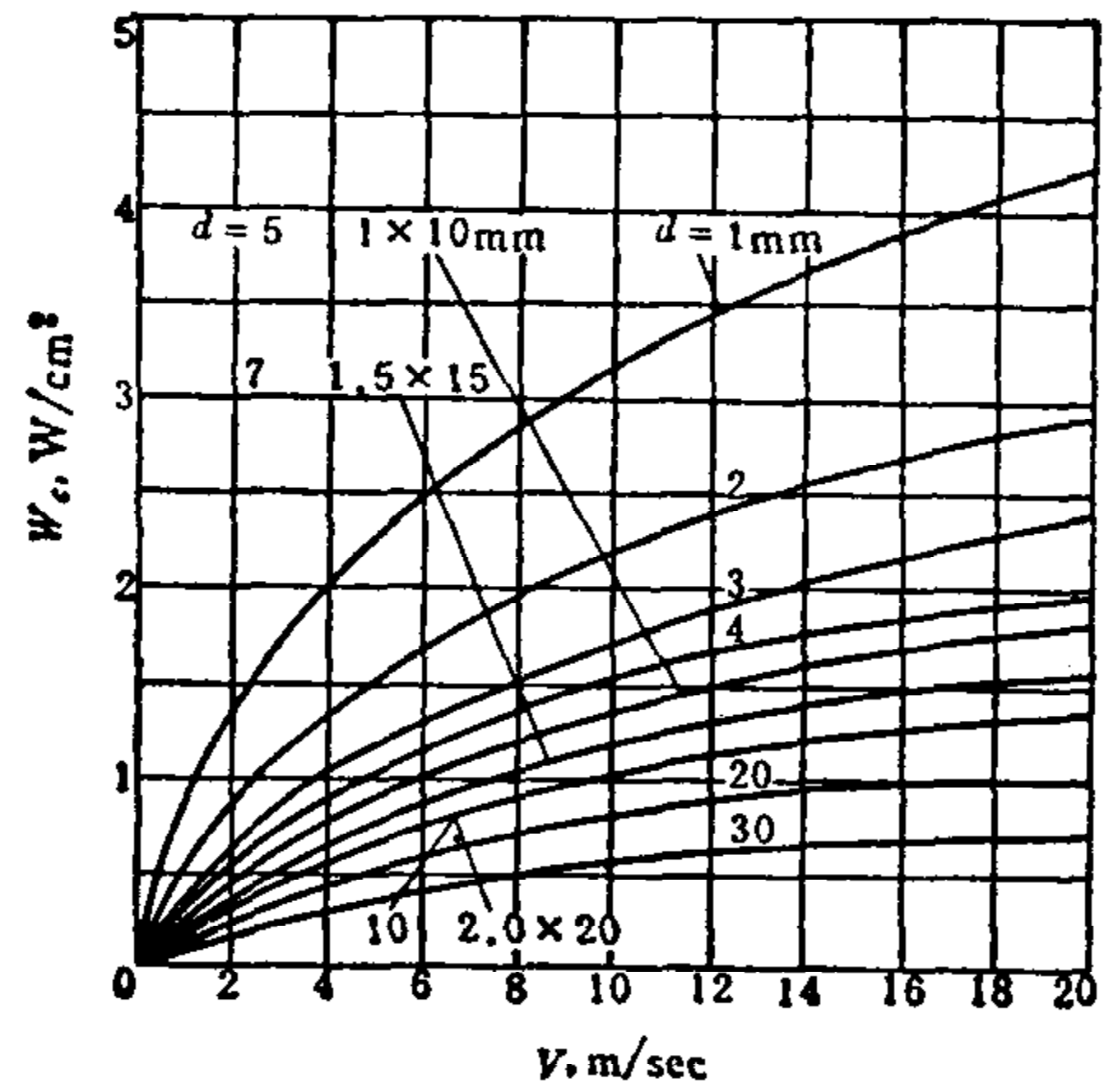
a)  $\theta_q=100^\circ\text{C}, \theta_j=500^\circ\text{C}$   
 $W_R=1.0\sim 0.7\text{W}/\text{cm}^2$



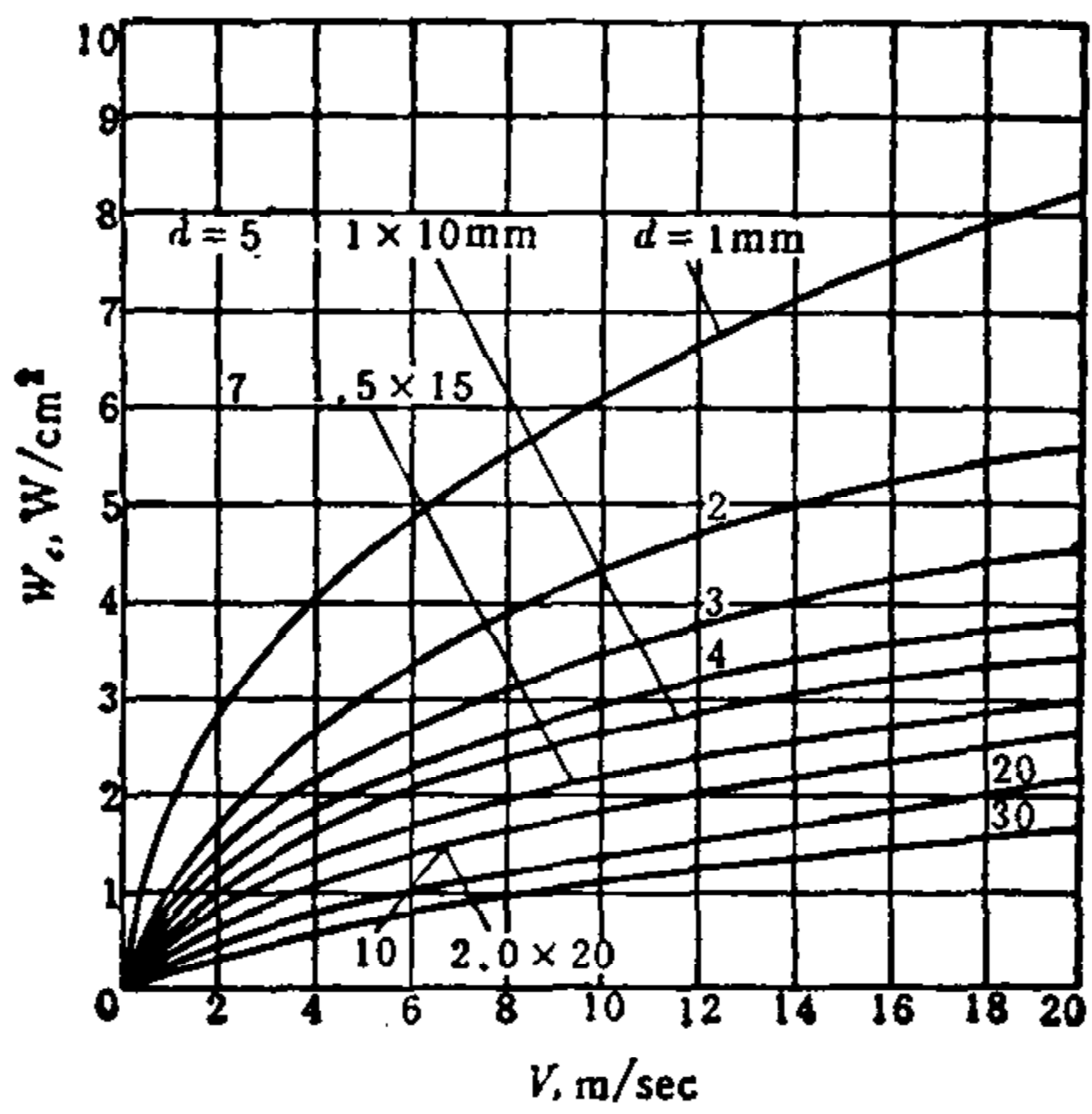
b)  $\theta_q=200^\circ\text{C}, \theta_j=500^\circ\text{C}$   
 $W_R=0.8\sim 0.55\text{W}/\text{cm}^2$



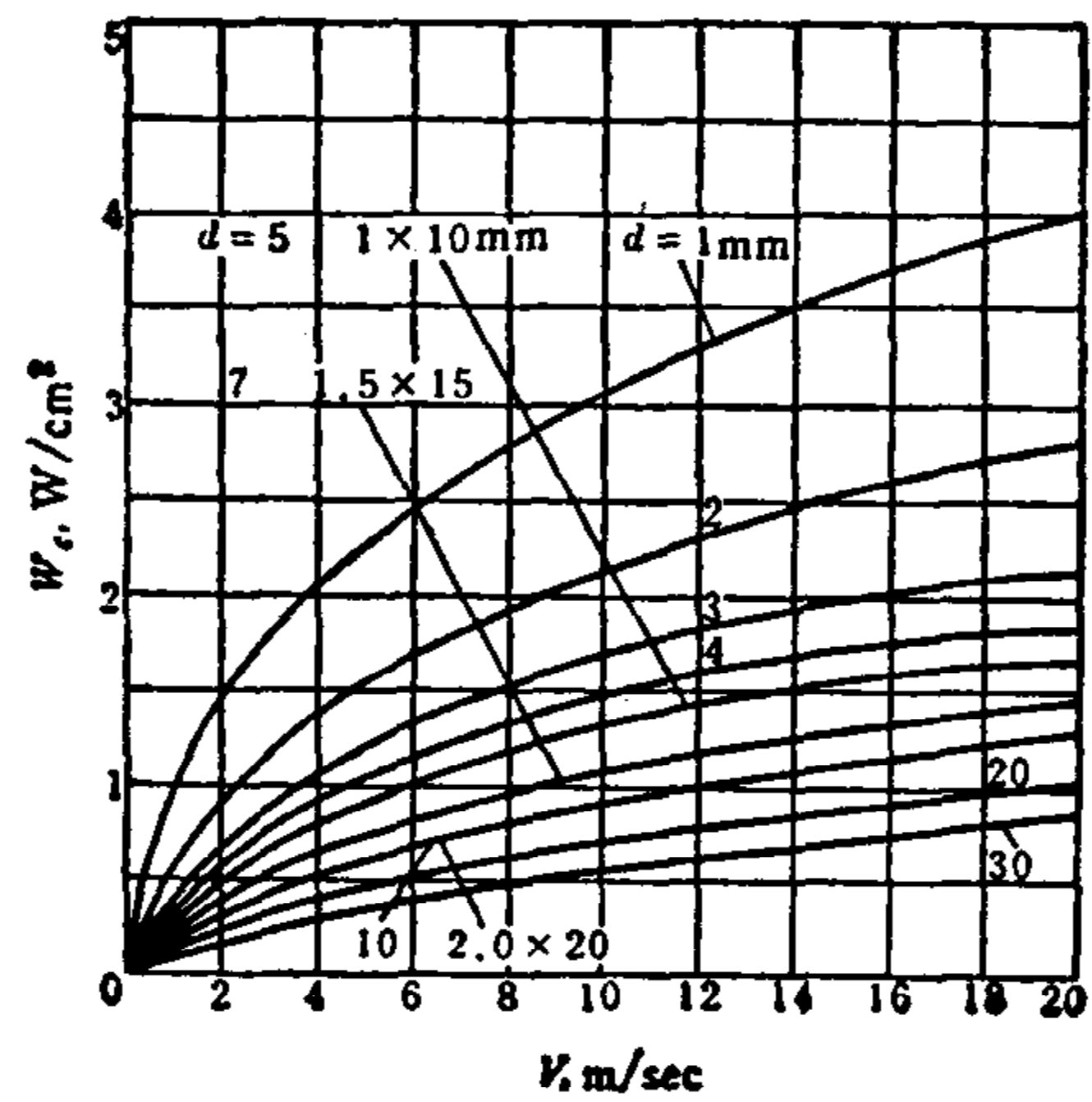
c)  $\theta_q=300^\circ\text{C}, \theta_j=500^\circ\text{C}$   
 $W_R=0.6\sim 0.4\text{W}/\text{cm}^2$   
 或  $\theta_q=400^\circ\text{C}, \theta_j=600^\circ\text{C}$   
 $W_R=0.9\sim 0.6\text{W}/\text{cm}^2$



d)  $\theta_q=500^\circ\text{C}, \theta_j=600^\circ\text{C}$   
 $W_R=0.55\sim 0.4\text{W}/\text{cm}^2$



e)  $\theta_q=600^\circ\text{C}, \theta_j=800^\circ\text{C}$   
 $W_R=1.8\sim 1.2\text{W}/\text{cm}^2$



f)  $\theta_q=700^\circ\text{C}, \theta_j=800^\circ\text{C}$   
 $W_R=1.0\sim 0.7\text{W}/\text{cm}^2$

图 34.2-3 对流加热元件的表面负荷