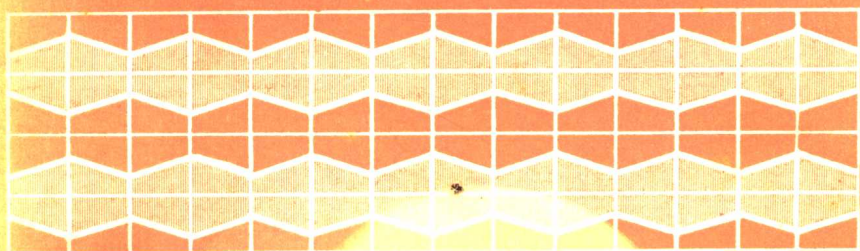
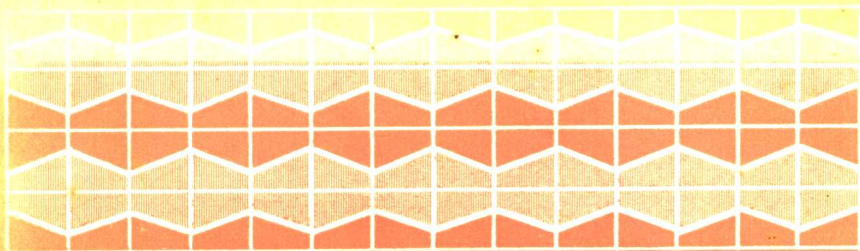
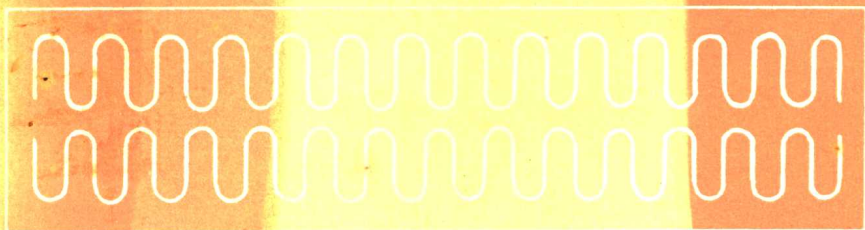


TAOCIGONGYEDIANLU



# 陶瓷工业电炉



中国建筑工业出版社

# 陶瓷工业电炉

江尧忠

中国建筑工业出版社

本书全面介绍了陶瓷工业中常用的各种电阻炉——铁铬铝丝炉、硅碳棒炉、二硅化钼炉、钼丝炉、屏蔽炉及其他一些新型电炉（弧象炉、电子束炉、等离子炉等）的结构、工作原理、设计方法、制造、使用及维修。简要地介绍了电炉的热工测量和调节。书中还为设计电炉提供了较完整的资料。

本书可供陶瓷工业的工程技术人员、工人及高等院校有关专业师生参考。

本书大部分内容取自作者为清华大学非金属材料专业所写的《陶瓷工业窑炉》(下册)教科书，这次又由作者作了较大的补充和修改，重新写成此书。在此过程中，南京化工学院、华南工学院、天津大学、北京建筑材料研究所、七九八厂、冶金部钢铁研究总院、天津电炉厂、上海电炉厂、建筑材料科学研究院、北京钢铁设计院、上海科技大学及北京工业大学等单位曾给予热情支持，提供有关资料，并提出了许多宝贵意见，在此表示感谢。

## 陶瓷工业电炉

江尧忠

\*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

\*

开本：850×1168毫米 1/32 印张：15 1/4 插页：1 字数：408千字

1981年3月第一版 1981年3月第一次印刷

印数：1—2,550册 定价：1.45元

统一书号：15040·3818

# 目 录

绪言 .....	1
第一章 电阻炉的分类 .....	4
第一节 间歇操作电阻炉 .....	4
第二节 半连续操作电阻炉 .....	12
第三节 连续操作电热窑炉 .....	14
第二章 陶瓷工业电阻炉设计程序 .....	20
第一节 电阻炉设计的原始条件 and 设计程序 .....	20
第二节 电阻炉型式及容量的选择 .....	23
第三章 筑炉耐火及保温材料 .....	27
第一节 耐火材料 .....	27
第二节 轻质耐火材料 .....	39
第三节 普通隔热材料 .....	45
第四节 耐火胶泥 .....	49
第四章 陶瓷电阻炉的结构 .....	57
第一节 炉衬构造 .....	57
第二节 炉顶、炉门、炉底和地基、炉壳 .....	69
第三节 电热体、观察孔及防爆器 .....	75
第五章 电炉传热原理及功率确定 .....	81
第一节 传导传热 .....	83
第二节 对流换热 .....	95
第三节 辐射传热 .....	107
第四节 综合传热 .....	124
第五节 不稳定传热 .....	129
第六节 电阻炉功率确定 .....	141
第六章 电热体材料特性及电热体 .....	158
第一节 钼 .....	159
第二节 钨 .....	164

第三节	铂 .....	169
第四节	铬镍合金和铁铬铝合金 .....	171
第五节	硅碳棒 .....	176
第六节	二硅化钼电热体 .....	185
第七节	石墨和碳 .....	189
第七章	电热体单位表面功率及其尺寸计算 .....	196
第一节	电热体的单位表面功率 .....	196
第二节	电热体尺寸的确定 .....	201
第八章	电热体的焊接和安装 .....	211
第一节	高电阻电热合金电热体加工、焊接与安装 .....	211
第二节	硅碳棒及二硅化钼棒的安装 .....	224
第九章	电阻炉的供电电路及功率的调节 .....	230
第一节	供电电路与调节方法 .....	230
第二节	电压、功率和接线方法的选择及炉内功率分配 .....	235
第十章	电阻炉的使用与维修 .....	241
第一节	电阻炉的安装与使用 .....	241
第二节	电阻炉的维护与修理 .....	243
第十一章	硅碳棒电阻炉的设计 .....	253
第一节	箱式硅碳棒电阻炉的设计 .....	253
第二节	硅碳棒电热隧道窑的设计 .....	264
第十二章	钼丝炉 .....	283
第一节	炉型选择及炉膛尺寸的确定 .....	284
第二节	钼丝炉的结构 .....	285
第三节	钼丝炉的热量平衡及功率确定 .....	289
第四节	电热体尺寸的确定及绕丝布置 .....	305
第五节	钼丝炉管的制造工艺 .....	312
第六节	钼丝炉的砌筑与烘炉 .....	319
第七节	钼丝炉的正常运行、安全操作及立式钼丝炉的 发展 .....	323
第八节	卧式钼丝炉 .....	326
第十三章	屏蔽炉 .....	332
第一节	隔热屏的结构 .....	332

第二节	屏蔽炉的热工计算 .....	336
第十四章	感应炉、电弧炉及其他高温设备 .....	350
第一节	感应炉 .....	350
第二节	电弧炉 .....	359
第三节	弧象炉 .....	363
第四节	电子束炉 .....	369
第五节	等离子炉 .....	378
第六节	太阳炉 .....	383
第十五章	电炉热工测量和调节 .....	392
第一节	温度测量 .....	396
第二节	电阻炉恒温自动控制 .....	445
第三节	压力测量和调节 .....	456
第四节	流速、流量测量和调节 .....	471

## 绪 言

随着科学技术的发展，陶瓷工业已超越了日用、建筑和一般工业用途的范围，而应用于电子工业、航空工业、原子能、导弹、火箭和宇宙科学等尖端技术中。

这些高温特种陶瓷所使用的原料，多为高纯氧化物、氮化物、碳化物和硼化物等耐高温材料。生产这些材料和进行物理、力学性能的检验需要在高温下进行，要求准确控制温度，有时需要控制气氛或其他工艺条件，因此需要新型高效能的热工设备，于是加速了陶瓷工业电炉的发展。电热隧道窑、高温氢气钼丝炉、钨棒炉及屏蔽炉等现已被普遍地使用。

一直沿用的隧道窑和倒焰窑等火焰窑炉，系利用燃料燃烧所放出的热量来加热的。这种火焰窑炉存在窑内温度不均匀，不易调节，烧成温度及气氛受到一定限制等缺点。

与火焰窑炉相比，电炉有许多优点：

1. 热效率高。电炉可以直接或间接加热制品，不需要燃烧烟气作传热介质，没有排出废气所造成的热损失，加热空间紧凑，空间热强度高，能够达到很高的工作温度。

2. 产品质量好。电炉不需要助燃空气，也不出现烟气，所以炉内气氛比较洁净。同时炉温可进行非常精确的控制，严格准确地保持规定的烧成制度，在炉膛内温度分布均匀。烧结温度范围较窄的制品，用电炉焙烧时温度一般能控制在 $\pm 5 \sim 10^{\circ}\text{C}$ 范围内，有些电炉温度波动范围很小。而火焰窑炉温度波动范围较大。所以，电炉焙烧的制品质量好，合格率高。而且适应各种烧成制度的要求，如迅速或缓慢升温、降温、准确地保持恒温等都比较容易。

3. 能在各种人工气氛中焙烧。隔绝外部空气将所需要的气体

引入炉内，控制焙烧过程，例如在氢气气氛中焙烧氧化铝透明陶瓷。

4. 设备简单，占地面积小。电炉不需要燃烧室、管道、排风机或烟囱。不用燃料堆场及炉渣堆场，电炉本身占用场地也少。因此，能够减少工厂及厂房面积，节省设备投资。

5. 没有极高温度的局部燃烧部分（燃烧室），也不会因炉灰的影响而损坏炉衬。所以，耐火材料的寿命较长，炉衬结构简单。在耐火层及保温层损坏时修理方便，费用低廉。

6. 电炉操作简便，车间清洁，劳动条件好。

电炉的缺点是附属电器设备比较复杂，装置费用高。在电炉中的介质一般为空气，要实现还原性气氛的烧成，还需要另外加入具有还原性的气体。

电炉按电能转变为热能的方式，一般可分为电阻炉、感应炉、电弧炉、电子束炉及等离子炉等。

### 1. 电阻炉

当电流通过导体时，由于电流的热效应而产生热能，利用这种热能的炉子称为电阻炉。电阻炉通常按以下几种特征进行分类：

（1）按作业方式分类：间歇操作、半连续操作和连续操作。

（2）按加热方式分类：直接加热和间接加热。

（3）按工作温度分类：低温炉、中温炉及高温炉。

（4）按结构特点分类：箱式炉、井式炉及台车式炉等。

（5）按电热体材料和形状分类：钼丝炉、硅碳棒炉、石墨碳管炉等。

### 2. 感应炉

由于电磁感应作用在导体内产生感应电流，而感应电流因为导体的电阻而产生热能的炉子。

### 3. 电弧炉

热量主要由电弧产生的电炉。可分为三种：



(1) 直接加热电弧炉：电弧发生于电极和被加热物体之间，把热量传给被加热物体。

(2) 间接加热电弧炉：电弧发生在两个电极之间，利用辐射方式加热物料。

(3) 电阻电弧炉：电阻加热和电弧加热同时进行。

#### 4. 电子束炉

利用高速运动的电子的能量作为热源的电炉。

#### 5. 等离子炉

利用由电能产生的等离子体的能量来加热的电炉。

陶瓷工业主要使用间接加热电阻炉，本书将作为重点介绍。它广泛用于陶瓷器彩绘烧成、熔融珐琅釉料、无线电陶瓷和高温特种陶瓷的烧成等方面。

# 第一章 电阻炉的分类

电阻炉使用范围非常广泛，它们的构造形式和尺寸大小各不相同，就其用途讲，较难作出完全合理的分类。各国对电阻窑炉的分类法亦不一致。我国的分类方法一般是按照炉膛的结构形式及制品在电炉内的移动方式来加以划分。通常分为间歇操作、半连续操作和连续操作电阻炉。

## 第一节 间歇操作电阻炉

间歇操作电阻炉特点为电炉生产有周期性。每个周期的生产过程是：陶瓷坯体人工装入电炉内，经过升温、恒温及冷却阶段，取出制品。

这类电炉按炉温的高低，可以分为低温（工作温度低于 $600\sim 700^{\circ}\text{C}$ ）、中温（工作温度为 $700\sim 1250^{\circ}\text{C}$ ）和高温（工作温度大于 $1250^{\circ}\text{C}$ ）三类。低温电炉中，电热体把空气加热，借助于炉内气体的流动把热量传给制品，传热方式主要依靠对流。中温及高温电阻炉主要依靠辐射传热。

陶瓷工业电炉通常按其结构特点来进行分类，有箱式（室式）电阻炉和井式（立式）电阻炉。

### 一、箱式（室式）电阻炉

这种电阻炉的外形象箱子，炉膛呈长六面体。靠近炉膛的内壁放置电热体，通电后发出的热量直接辐射给制品。当电炉最高工作温度在 $1200^{\circ}\text{C}$ 以下时，通常采用高电阻电热合金丝（或带）为电热体，如铬镍丝、铁铬铝丝等。当最高工作温度为 $1350\sim 1400^{\circ}\text{C}$ 时，可采用硅碳棒为电热体。最高工作温度为 $1600^{\circ}\text{C}$ ，可采用二硅化钼为电热体。

国产RJX系列中温箱式电阻炉的构造如图1-1所示。炉壳7是由角钢及钢板焊接而成，炉壳内的工作室（炉膛）4系用各种耐火材料砌成，外壳与炉膛之间填满保温用的蛭石粉。电热体2为高电阻合金丝，经盘绕后装置在炉膛两侧炉壁搁丝砖上面。炉底板5是用耐热合金钢制成，制品即放在上面。

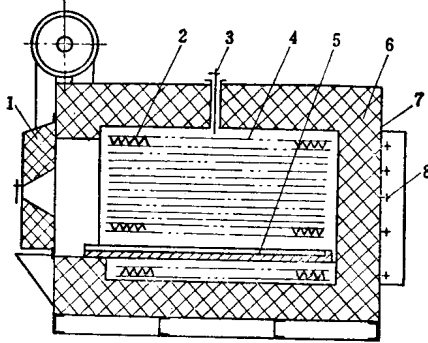


图 1-1 中温箱式电阻炉结构简图

1—炉门；2—电热体；3—热电偶；4—炉膛；5—炉底板；6—炉衬；7—炉壳；8—电热体引出端

炉门1的升降是通过手摇链轮来进行，在炉门上面有一安全装置断路器与轮轴联锁，当炉门打开时，电炉电源即切断，以保证操作人员的安全。在炉顶板上有一热电偶孔，将热电偶3装入炉膛，与电炉控制柜上的温度测量控制仪表配合使用，以控制和指示炉膛的温度。

表1-1列出我国一些电炉厂生产的部分RJX系列中温箱式电阻炉的技术数据。

RJX系列高温箱式电阻炉，系采用硅碳棒作为电热体，最高工作温度为1350°C。图1-2所示为RJX系列高温箱式电阻炉结构图。炉壳1由角钢及钢板焊成，工作室2用高铝砖砌筑，高铝砖外为绝热砖与保温粉。硅碳棒3竖放在工作室的两侧。炉门4用钢板制成，里面砌有轻质耐火砖和保温砖。观察孔5是在炉门中央用来观察制品加热情况，为了防止炉内热量从孔中散逸，在孔内夹有一层透明云母片。手柄6用来启闭炉门，行程开关7

RJX①系列中温箱式加热电阻炉技术数据

表 1-1

名 称	单 位	电 炉 规 格				
		RJX-15-9	RJX-30-9	RJX-45-9	RJX-60-9	RJX-75-9
额定功率	千 瓦	15	30	45	60	75
额定电压	伏	380/220/380	380/220/380	380/220/380	380/220/380	380/220/380
相 数		1/3/3	3	3	3	3
电阻丝连接方法		串联/Y/Y	Y/△/Y	Y/△/Y	YY/△△/Y	YY/△△/Y
最高工作温度	°C	950	950	950	950	950
工作室尺寸(长×宽×高) 在850°C温度下的运行	毫 米	650×300×250	950×450×450	1200×600×500	1500×750×550	1800×900×600
规 格:		≤5	≤9	≤11	≤14	≤17
空载运行功率	千 瓦					
最大技术生产率	公斤/小时	50	125	200	275	350
空载时,由20°C升至最高 温度的时间	小 时	4	4.5	4.5	5	6
炉底板最大载重	公 斤	90	200	350	500	800
电炉外形尺寸(长×宽×高)	毫 米	1559×1382×1642	1971×1601×1944	2300×1950×2140	2670×2310×2170	3050×2410×2230
电炉重量	公 斤	1055	2200	3200	4800	6000

① RJX符号表示意义为: R表示电阻, J表示加热, X表示箱式。

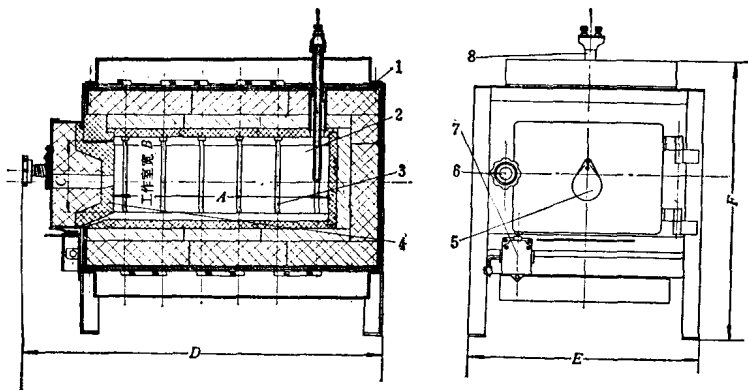


图 1-2 硅碳棒高温箱式电阻炉

1—炉壳；2—工作室；3—硅碳棒；4—炉门；5—观察孔；6—手柄；7—行程开关；8—热电偶

装置在炉门左下端，当炉门开启时，切断电炉电源，以保证安全。热电偶 8 由炉顶插入。由于硅碳棒容易老化，使用不久电阻即显著增加，因此必须采用调压变压器，调节次级电压，以保持恒定的功率。

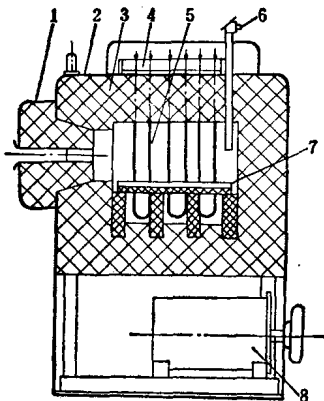


图 1-3 二硅化钼高温箱式电阻炉

1—炉门；2—炉壳；3—炉衬；4—引出座；5—U形二硅化钼电热体；6—热电偶；7—炉底板；8—变压器

表 1-2 中列出了我国一些电炉厂生产的部分 RJX 系列高温箱式电阻炉的技术数据。

二硅化钼 ( $\text{MoSi}_2$ ) 高温箱式电阻炉如图 1-3 所示。使用温度可达  $1600^\circ\text{C}$ ，电热体做成 U 形，一般都是垂直安装。炉墙的耐火材料采用优质泡沫高铝砖砌成。二硅化钼电热体很脆，因此应掩藏在炉墙的凹档中，以免装、出制品时被碰断。另外，这种电热体加热后会伸长，所以其底端离开炉底

RJX系列高温箱式加热电阻炉技术数据

表 1-2

名 称	单 位	规 格		
		RJX-14-13	RJX-25-13 RJX-25-13-A	RJX-37-13
额定功率	千 瓦	14	25	37
电源电压	伏	220/380	380	380
最高工作温度	°C	1350	1350	1350
接线方法		Y	Y	YYY/Y/Δ
相 数		1/3	3	3
升温时间	分	220	240	420
电 热 体:				
工作段(直径×长度)	毫 米	14×200	18×300	14×400
连接段(直径×长度)	毫 米	22×250	28×350	22×350
数 量	支	12	12	18
炉膛尺寸:				
长	毫 米	520	600	810
宽	毫 米	220	280	550
高	毫 米	220	300	375
炉 重	公 斤	700	1500	3000

注: RJX-14-13型表中斜线以上数字为天津电炉厂的。RJX-25-13-A型为天津电炉厂的。RJX-37-13型斜线以上接线方法为哈尔滨第二电炉厂的。

应有一定间隙。

马弗电阻炉也是箱式电阻炉的一种形式,如图1-4所示。

马弗炉采用电热合金丝作为电热体,穿绕在马弗炉膛砖的圆孔中,借传导和辐射方式加热砖的内侧面,并将加热量辐射给制品。

马弗壁是用碳化硅做成的耐火薄壁,碳化硅是一种碳与硅的化合物,有较高的热传导率,高温性能好,机械强度大,

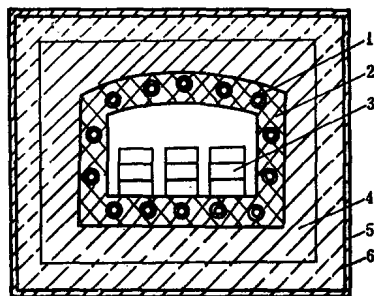
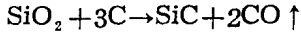


图 1-4 马弗炉

1—电热体; 2—马弗炉膛砖; 3—制品; 4—耐火砖; 5—炉壳; 6—保温材料

耐磨性能极好。用一定比例的焦炭、石英砂、食盐和木屑混合，压成所需的形状，经过高温煅烧便成为马弗壁了。其化学反应方程如下：



使用马弗壁的优点在于保护电热体和使炉膛温度比较均匀。由于电热体不直接外露在炉膛里，这就避免了炉内腐蚀性气体对电阻丝的损伤。另外，因为电阻丝发出的热量不是直接辐射给制品，而是均匀地加热马弗壁，然后再通过马弗壁辐射给制品，这样就避免了靠近发热体的制品温度高，远离发热体的制品温度低的缺点，所以炉温较为均匀。但是，正是因为隔了一层马弗壁，所以炉膛内的温度相对于没有马弗壁的炉子要低一些，升温速度也慢一点。根据上述特点，马弗炉适用于预烧、排腊、烧釉、烧银等工序。

这种箱式电热窑炉主要用于单个小批量的大、中、小型制品的烧成。

## 二、井式（立式）电阻炉

井式电阻炉的炉膛高度大于长度和宽度（或直径），炉门开在顶面，用炉盖密封。电炉的加热元件通常都布置在炉膛的侧壁上。这种电炉的炉型为圆形、正方形或长方形，圆形较多。图 1-5 所示为中温井式电阻炉的结构。这种电炉适宜于管状制品的烧成。炉子可以做得很深，安装在坑内，如用水热法合成人工水晶的电阻炉。深井电阻炉通常沿高度分成几个加热区，各区温度可分别以控制功率来调节，使电炉沿整个高度上温度分布均匀。

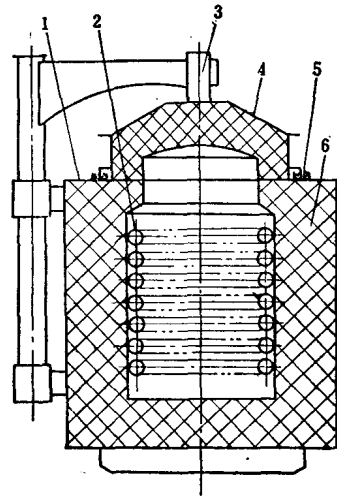


图 1-5 中温井式电阻炉结构简图  
1—炉壳；2—电热体；3—启盖机构；4—炉盖；5—砂封；6—炉衬

井式炉的优点是占地面积小，炉盖可用砂封、水封、油封等密封起来，电炉热损失较小，条件可能时，还可利用车间的行车或吊车帮助人工操作。

表 1-3 列出我国某些电炉厂生产的部分 RJJ 系列井式电阻炉的技术数据。

RJJ系列高温井式电阻炉技术数据

表 1-3

名 称	单 位	电 炉 规 格		
		RJJ-25-13	RJJ-65-13	RJJ-95-13
额定功率	千瓦	25	65	95
电源电压	伏	380	380	380
工作电压	伏	185~405	91~163.5	91~163.5
相 数		3	3	3
硅碳棒连接方法		Y	Y/△	Y/△
最高工作温度	°C	1350	1350	1350
工作室尺寸(长×宽×高)	毫米	300×280×600	300×300×1260	300×300×2207
最高工作温度时空载功率	千瓦	≤12	≤28	≤34
外形尺寸(长×宽×高)	毫米	1110×1115×1425	1904×1590×2600	1904×1590×3600
电炉总重量	公斤	—	4700	5800

上述电阻炉均以电热合金丝、硅碳棒或二硅化钼棒为电热器。我国自行设计制造了一系列井式高温电阻炉，例如钼丝炉可在1700~1800°C高温下工作，钨丝炉最高工作温度可达2500°C，钼丝炉、钨丝炉是在真空或保护气氛中使用的。

以一种类型真空钨丝炉为例，阐述其结构及技术性能。图1-6是炉体结构示意图。电炉为井式结构。炉体是用钢板制成，内带有冷却水套。炉体内装有钨丝编制的加热器，在它的中间装有悬挂式坩埚支架，用来支持熔化金属的坩埚或被烧结的制品。加热器的外围是用钼片和不锈钢片制成的多层隔热屏，以减少热辐射损失和炉壁升温过高。在炉盖上设有观察孔，用来观察炉内情况，也能用光学高温计测量炉膛温度。在下部电极上装有螺旋触点控温装置，借助于钨丝加热器在加热后伸长的原理，而使螺旋



触点接触或分离，使调压器的电机正转或反转。调整电压，使温度自动升高或降低。

真空系统如图 1-7 所示。由油旋转泵和油扩散泵、管路、高低压真空方型联动控制阀、放气阀等组成。以实现所要求之真空度。

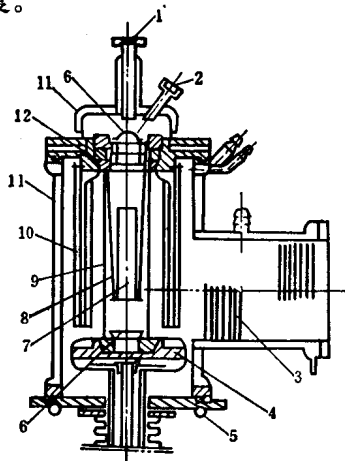


图 1-6 真空钨丝炉

1—观察孔；2—热电偶测温孔；3—遮热板；4—下钨电极；5—冷却水管；6—防温盖；7—被烧结物料；8—坩埚支架；9—钨加热器；10—隔热屏；11—冷却水套；12—上钨电极

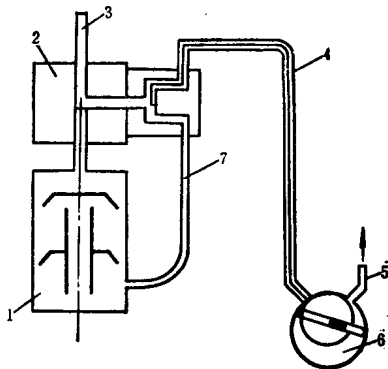


图 1-7 真空系统示意图

1—扩散泵；2—联动真空阀；3—接自炉体管路；4—高低真空共同管路；5—出气口；6—真空机械泵；7—高真空管路

真空钨丝炉技术数据

表 1-4

名 称	单 位	电 炉 规 格
额定功率	千 瓦	50
电源电压	伏	380
工作电压	伏	0~9
最高工作温度	°C	2500
极限真空度	毫米汞柱	$1 \times 10^{-4}$
工作室尺寸(直径×深度)	毫 米	60×120
电炉重量	公 斤	3250