

第 1 章 厨房器具

厨房器具是一种电能转换为热能的家用电器，它属于电热器具，具有电热器具的共同性质。本章先介绍电热器具的一些共性，然后再介绍几种有代表性的厨房器具。

近十多年来，随着人民生活水平的不断提高，电热器具工业得到了很快的发展，而且品种越来越多，质量越来越好，外观设计也越来越漂亮，据国外有关资料表明，电热器具的使用量约占家用电器的 1/3 左右。

电热器具主要具有以下几个优点：

- (1) 体积小 重量轻 使用方便 维修容易。
- (2) 控温方便，精确度高，容易实现自动控制。
- (3) 热效率高 约为 50% ~ 95% (煤的热效率为 12% ~ 20% 液体燃料为 20% ~ 40% 气体燃料为 50% ~ 60%)
- (4) 热惯性小。
- (5) 干净卫生，没有油烟污染。

由于电热器具具有这些优点，因而使用面很广。

电热器具常常根据用途不同，制造成各种类型及功能的家用电热器具，例如，电饭锅、电烤箱、电磁灶、微波炉、电热水器、电热毯、电暖器、电熨斗和电热梳等。除此之外，电热器具也可把多种功能综合在一起，例如，带微波炉烹调的电冰箱，带干衣装置的全自动洗衣机，带制热的空气调节器，带吹热风的电风扇，等等。

1.1 电热器具的结构与分类

1.1.1 电热器具的基本结构

电热器具的基本结构包括三部分：电热元件、控制元件和器具结构件。

1. 电热元件

电热元件是指由电能转换成热能的装置，一般由电热材料和绝缘保护层组成。它是电热器具的心脏，它的质量好坏关系到电热器具的使用寿命和安全性能。

2. 控制元件

控制元件是指电热器具中用于控制电流、温度或时间等参数的元器件。它决定了产品的技术性能和使用功能，产品的功能越多、性能越好，控制机构也就越复杂。

3. 器具结构件

器具结构件是指满足用途和功能的壳体构件，如电饭锅的锅体、电烤箱的箱体和微波炉的炉

体等。它与不同的电热元件和控制元件配合，就构成不同的电热器具。它的质量好坏，关系到产品的安全性能、使用寿命和功率。

一般把用途、安全、效率、造型和成本列为器具结构件的五要素。

1.1.2 电热器具的分类

电热器具品种很多，分类通常采用两种方法：按用途分类和按加热原理分类。

1. 电热器具按用途分成如下几类：

- (1) 厨房电热器具。例如 电饭锅、电炒锅、电烤箱、电灶、电磁灶和微波炉等。
- (2) 取暖电热器具。例如，电暖器、电热毯、电热衣、电热鞋和红外线取暖器等。
- (3) 热水电热器具。例如 电水壶、电热杯、咖啡壶、暖乳器、自动沸水器和速热器等。
- (4) 熨烫电热器具。例如，电熨斗等。
- (5) 美容电热器具。例如，电吹风、烘发器、烫发器和电热梳等。
- (6) 保健电热器具。例如，红外线电灸器、热敷器和家庭消毒器等。
- (7) 其他专用电热器具。例如，电烙铁、电热笔等。

2. 按加热原理分成如下几类：

(1) 电阻式电热器具

电阻式电热器具的加热方式有直接电加热方式和间接电加热方式两种。

直接电加热方式是直接把电压加在被加热物体的两端，让电流流过被加热物体，利用被加热物体的电阻发热达到加热的目的。

间接电加热是把电压加在专门的电热元件两端，利用电热元件的电阻发热，通过热传递的方式使被加热物体升温。由于这种加热方式安全可靠，使用方便，目前已被广泛采用。

电阻式电热器具具有电饭锅、电炒锅、电水壶、电热毯、电暖器、电吹风和电熨斗等。

(2) 红外式电热器具

红外式电热器具是把电能转换成红外能来进行加热的器具。红外线是一种电磁波，波长介于可见光与无线电波之间，可分近红外与远红外两种，也可分近红外、中红外和远红外三种。红外式电热器具是通过加热红外线辐射物质，使其辐射出红外线来，然后加热物体。

红外式电热器具，如远红外电烤箱、红外线取暖器和红外线电灸器等。

(3) 感应式电热器具

感应式电热器具是利用导体在交变磁场中产生的感应电流（即涡流）在导体内部克服内阻而产生热量的原理制成的电热器具，如电磁灶、感应式电烙铁等。

(4) 微波式电热器具

微波也是一种电磁波，频率较高。微波式电热器具是把电能转换成微波能量来进行加热的电热器具，主要代表是微波炉。

1.1.3 电热器具的通用技术要求

电热器具的安全主要是电的安全和热的安全。在考虑安全问题时，不但要考虑正常使用情况下的安全，还要考虑意外情况下的安全。因此，电热器具的设计、制造、安装和维修都应考虑下列国家规定的主要的通用技术要求（GB 标准）。

1. 功率

电热器具的输入功率和可拆开的电热元件的输入功率，在额定电压和正常工作温度下，一般偏差不应大于 $\pm 10\%$ 。

2. 温升

电热器具中所有电热元件都接入电路，并在充分发热的条件下，其输入功率超过额定功率，并等于额定功率的 1.5 倍的情况下工作，人们握持的手柄、旋钮、夹子等零部件的温升不得超过 $15\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ （环境温度以 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为基准）。

3. 在工作温度下的泄漏电流

电热器具在工作温度下的泄漏电流，按其额定输入功率计算，每千瓦应该不大于 0.75 mA ，但整个电热器具的最大泄漏电流值不大于 5 mA 。

4. 绝缘电气强度

电热器具的绝缘电气强度应进行 50 Hz 的交流电压试验，历时 1 min ，要求不发生闪烁和击穿现象，试验电压的数值如表 1-1 所示。

表 1-1 绝缘电气强度的试验电压值

施加试验电压的部位	试验电压/V
带电部件和仅用基本绝缘与带电部件隔离的壳体之间	1 250
带电部件和用加强绝缘与带电部件隔离的壳体之间	3 750

5. 防触电保护

电热器具的结构和外壳应有良好的防触电保护。

6. 耐热、耐燃

电热器具的外部零件和非金属材料的部件均应有足够的耐热性和耐燃性。

7. 接地装置

电热器具的外壳应永久地、可靠地安装接地装置或者连接到电器进线装置的接地极上。

1.1.4 电热材料、绝热材料和绝缘材料

1. 电热材料

电热器具中使用的核心材料是电热材料，它是电热转换的关键部件。

常用的电热材料按材质不同可分金属、非金属和半导体三大类。

(1) 金属电热材料

金属电热材料按其电阻率的大小可分为三大类：高电阻材料（电阻率 $\rho > 10^{-6}\ \Omega\cdot\text{m}$ ）中电阻材料（电阻率 $\rho = (0.2 \sim 1) \times 10^{-6}\ \Omega\cdot\text{m}$ ）和低电阻材料（电阻率 $\rho < 0.2 \times 10^{-6}\ \Omega\cdot\text{m}$ ）。

按其材质又可分为如下几类：

- ① 贵金属及其合金（如铂、铂铱等）；
- ② 重金属及其合金（如钨、钼等）；
- 镍基合金（如镍铬、镍铬铁等）；
- 铁基合金（如铁铬铝、铁铝等）；
- ⑤ 铜基合金（如康铜、新康铜等）。

这些合金电热材料中，常用的是镍基合金和铁基合金。铁基合金使用得比较普遍，镍基合金常用在高温、高强度、高磁性能及特殊的场合。

常用合金电热材料的性能、特性如表 1-2 所示。

表 1-2 常用合金电热材料的性能

性能	镍铬合金		铁铬铝合金			
	Cr ₂₀ Ni ₈₀	Cr ₁₅ Ni ₈₅	LCr ₁₃ Al ₄	OCr ₁₃ Al ₆ MO ₂	OCr ₂₅ Al ₅	OCr ₂₇ Al ₇ MO ₂
线膨胀系数 (20℃~1000℃) /(×10 ⁻⁶ /℃)	14	13	15.4	15.6	16	16
比热容 /(kJ/(kg·℃))	0.440	0.461	0.490	0.490	0.490	0.490
导热系数 /(kJ/(m ² ·℃))	60.3	45.2	52.8	40.0	46.1	45.2
熔点约值/(℃)	1400	1390	1450	1500	1500	1520
电阻率 (20℃) /(Ω·mm ² /m)	1.09±0.05	1.12±0.05	1.29±0.08	1.40±0.10	1.40±0.10	1.50±0.10
正常使用温度 /(℃)	1000~1050	900~950	900~950	1050~1200	1050~1200	1200~1300
最高使用温度 /(℃)	1150	1050	1050	1300	1300	1400
特性	奥氏体组织,基本无磁性,加工性能好,高温强度高,不变脆		铁素体组织,有磁性,电阻率高,用料省,价格低,但加工性能差,高温强度高,用后会变脆			

合金材料中还有一类是变阻材料，如镍铁合金的电阻温度系数极高，这一点刚好与镍铬合金、铁铬铝合金相反，通常镍铁合金的电阻温度系数是镍铬和铁铬铝合金材料的 60~100 倍。

因此，变阻材料是既具有电加热功能，又具有控制温度功能的新型电热元件。它常与上述合金材料结合使用（如串联使用），也可单独使用，构成自动调节的电热元件。目前常被用于热水器、自动沸水器等家用电器中。

(2) 非金属电热材料

非金属电热材料可分硅类和石墨类两类。常用的非金属材料有硅钼棒、碳化硅和多孔玻璃态碳。

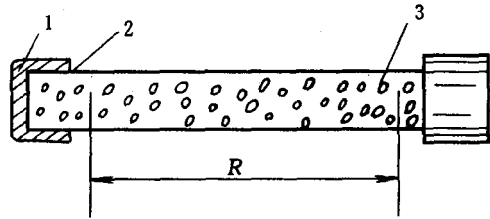
硅钼棒的主要原料是二硅化钼和二氧化硅，用粉末合金法制成，在国际上又称“超级康太尔”电热元件。它是瑞典康太尔厂 1957 年研制成功的一种新的耐高温电热元件，可在 1600℃ 的高温下长期工作，它的电阻率 ρ 随温度升高而急剧增加，因此，很有利于快速加热和限温。

碳化硅电热元件又称为硅碳棒或硅碳管，它是用碳化硅作为原料，经高温结晶而成。工作温

度为 $1250\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 极限值 $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。它的电阻率在 $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右时由大变小在 $900\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 1450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内则由小变大。它的特点是高温强度高，硬而脆，电阻值一致性差，易老化，电阻值随使用时间延长而增大。

多孔玻璃态碳是另一种非金属电热元件，其结构如图 1-1 所示。

多孔玻璃态碳的主要特性是机械强度大，不需添加耐热的绝缘支架而能自承，并能自己形成结构件。它的传热性好，传热面积大，因此，耗电省，热效率高。由于热惯性小，升温和降温都比较容易，也便于温度控制。多孔玻璃态碳还有一个显著特点是能吸附太阳能、微波能及其他辐射热能等电磁能，从而成为放热源。



1. 顶盖 2. 金属薄层 3. 多孔玻璃态碳交热体

图 1-1 多孔玻璃态碳

(3) 半导体电热材料

半导体电热材料又称为 PTC (POSITIVE TEMPERATURE COEFFICIENT OF RESISTIVITY) 电热材料 其特性请参阅 PTC 电热元件一节。

2. 绝热材料

绝热材料是电热器具中必不可少的材料，主要作用是保护人身安全和防止火灾。其性能要求是比热容和密度小 吸湿性小 电导率低 耐热、耐火 化学性质稳定。

常用的绝热材料有保温材料、耐热材料和耐火材料三大类。

保温材料要求能耐 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下的低温 如木材、软木、泡沫塑料和毛毡等。

耐热材料要求能承受 $150\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的中温 如石棉、石棉云母等。

耐火材料要求能承受 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的高温 如矿棉、硅藻土等。

3. 绝缘材料

绝缘材料也是电热电器中不可缺少的一种材料，电热电器中使用的绝缘材料还需有一定的耐热性能。

绝缘材料又称为电介质，用于电气绝缘。其性能应具有绝缘强度大、机械强度高、耐热性能好、吸湿度小、化学性能稳定和导热性好等优点。

表 1-3 给出了家用电热器具中常用的几种绝缘材料的绝缘性能，表 1-4 列出了它们的工作温度，供读者参考。

表 1-3 常用绝缘材料的绝缘性能

材料	云母	玻璃	瓷	电木	绝缘体	大理石	氧化镁
绝缘强度 F 击穿(kV/cm)	800~2 000	100~400	80~150	100~200	70~100	25~35	30

表 1-4 常用绝缘材料的工作温度

材料名称	一般陶瓷制品	云母及云母胶合板	电工陶瓷及耐火粘土	氧化镁和石英沙
温度范围/ $^{\circ}\text{C}$	< 500	700~800	1 400~1 600	1 500~1 700

1.2 电热元件

电热材料与绝热材料、导热材料、绝缘材料等组合构成既能通电发热，又能满足特定用途的独立的零部件称为电热元件。

电热元件按其材质与空气接触程度可分为开启式电热元件、半封闭式电热元件和封闭式电热元件三种。

开启式电热元件的电热材料完全裸露在空气中，其结构简单，制造容易，应用广泛，但表面带电，需注意安全。

半封闭式电热元件的电热材料与空气不完全隔绝，有一定的绝缘层，安全性能和机械强度相对提高，寿命也较长。

封闭式电热元件的电热材料与空气完全隔绝，可以加热各种介质，安全性能好，热效率高，寿命更长。

电热元件按电热转换方式不同可分为电阻式、红外式、电磁感应式和微波式四大类。其中，电阻式电热元件又可分为电阻式电热元件和 PTC 电热元件两种。

电热元件按其外观形状又可分为裸露电热元件、管状电热元件、板状电热元件、带状电热元件和薄膜状电热元件等。

1.2.1 裸露电热元件

裸露电热元件是利用金属材料按一定的形状绕制而成（如开启式电炉的电炉丝），外部不加任何绝缘物质，完全裸露于空气中。

裸露电热元件一般利用金属电热材料制成。可以使用铂、铱一类贵金属及其合金，或者使用钨、钼等重金属及其合金制作，也可以使用镍铬、镍铬铁基合金，或者使用铁铬铝、铁铝等铁基合金制作，还可使用铜基合金制作。

由于镍基合金和铁基合金电热材料价格比较便宜，具有电流热效应好、机械强度高和能耐高温等优点，因此被广泛使用。

镍基合金与铁基合金电热材料相比，镍基合金比较贵重，其优点是延展性好，容易缠绕加工，经高温加热后冷却，也不会变脆，不容易氧化起皮，使用寿命长。因此，常用在温度比较高的场合。

在一般性的电热元件上使用，铁基合金比镍基合金优越，主要表现在用料长度可减少 21%，重量减轻 1/3，表面功率增大 27%。由于铁基合金的电阻率大 30%，还可在保持长度和总电阻相同的条件下，增大截面积，降低表面负荷，增加有效辐射面积来提高寿命。

电热器具中一般根据使用的工作温度和电热材料的常用温度范围来确定电热材料的种类，而后根据表面负荷、额定功率和工作电压来计算选取长度和线径。

1.2.2 管状电热元件

管状电热元件有金属管状电热元件、石英辐射管状电热元件、陶瓷包覆式电热元件和远红外电热元件等多种。

1. 金属管状电热元件

金属管状电热元件简称电热管。它是一种结构简单、性能可靠、使用寿命长及目前使用最广泛的密封式电热元件。

它的结构如图 1-2 所示，由螺旋型电热丝、填充料、金属护套管和封口材料等构成。电热丝常用 $\text{Cr}_{20}\text{Ni}_{80}$ 镍铬丝和 $\text{OCr}_{25}\text{Al}_5$ 铁铬铝丝。一般直径在 $\phi 0.3\text{ mm}$ 以下的使用 $\text{Cr}_{20}\text{Ni}_{80}$ 镍铬丝，直径在 $\phi 0.35\text{ mm}$ 以上的使用 $\text{OCr}_{25}\text{Al}_5$ 铁铬铝丝。



1. 封口材料 2. 填充料 3. 引出杆 4. 金属护套管 5. 电热丝

图 1-2 金属管状电热元件

电热丝呈螺旋状并与引出杆串联后穿入无缝钢管、铜管或铝管内，位置处在管子的正中间，不与管壁接触。

电热丝与管壁之间用既绝缘、又导热的氧化物介质填充，如氧化镁、氧化铝、二氧化硅和苛性镁等。

封口材料要求既能防潮、又不封死。常选用适合相应温度的封口材料，如硅有机漆、环氧树脂、硅橡胶和云母玻璃等。其作用是防止填充料受潮，保证满足绝缘性能。

各种电热管是根据不同的用途设计的，其表面负荷不相同，使用时不能随意调换。例如，加热水的电热管不宜用来加热空气，否则，会因表面负荷过高而烧坏。

金属管状电热元件外表面涂刷一层远红外涂料，大大提高加热效果，常用于远红外电烤箱和远红外取暖器等。

金属管状电热元件的优点是表面不带电、使用安全可靠、坚固耐用，并可以加热多种介质。它具有结构简单、成本低廉、使用方便、寿命长、机械强度高及热效率高等优点，可以弯曲成各种形状，广泛应用在各种电热器具上。

2. 石英辐射管状电热元件

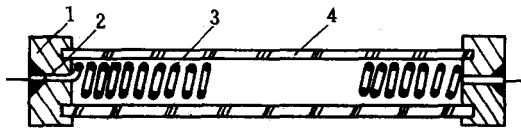
石英辐射管状电热元件由石英管、电热丝、引出端子和金属端部组成，如图 1-3 所示。

石英管有透明和乳白色半透明两种，直径在 $\phi 12\sim\phi 18\text{ mm}$ 之间。由于采用特殊的制作工艺，使管壁上形成大量的 $\phi 0.03\sim\phi 0.05\text{ mm}$ 的小气泡，密度达到 $2000\sim 8000\text{ 个}/\text{cm}^2$ 从而将可见光和近红外光线的穿透率由原来透明时的 $95\%\sim 98\%$ 降低到 $0.5\%\sim 2.5\%$ 几乎将这两部分能量全部吸收而转化为 Si-D 键的分子振动，于是产生出较强的远红外辐射。

电热丝的线径常取 $\phi 0.4\sim\phi 0.8\text{ mm}$ 左右，表面负荷选 $(4\sim 6)\times 10\text{ W}/\text{m}^2$ 并经 $900\text{ }^\circ\text{C}$ 高温预氧化处理隔绝空气使用，故不会氧化脱皮。

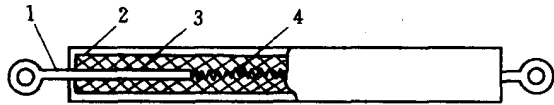
管端是金属部件，起密封和导电作用。

石英辐射管状电热元件的优点是辐射功率高，光谱发射率高达 $90\%\sim 92\%$ ，辐射效率为 90% 比其他辐射元件高 $10\%\sim 30\%$ ，它的热惯性小 加热快 余热小 热膨胀系数极低 具有耐急热、急冷能力；安全性能好，具有良好的电气绝缘性能和不吸湿性，适用潮湿环境使用；重量只有金属管状电热元件的 $1/3\sim 1/7$ ；使用寿命较长。



1. 金属端部 2. 引出端子 3. 电热丝 4. 石英管

图 1-3 石英辐射管状电热元件



1. 引出线 2. 釉层 3. 陶瓷料 4. 电热丝

图 1-4 陶瓷包覆式管状电热元件

3. 陶瓷包覆式管状电热元件

陶瓷包覆式管状电热元件的结构与金属管状电热元件相似，只是填充料使用陶瓷料，陶瓷外包覆一层釉层，经陶瓷烧结工艺而形成一个不可分拆的整体，结构如图 1-4 所示。

陶瓷包覆式管状电热元件的优点是：电气绝缘性能好，表面不带电，安全可靠；机械和热的稳定性好，热膨胀系数小，抗热冲击性能好；表面无明火，且光洁，不易粘灰尘，对被加热物质无污染 热效率高 结构简单 成本低 使用方便。

1.2.3 板状电热元件

板状电热元件主要由电板体、绝缘填充料和电热元件三部分组成，结构与上述电热元件大同小异。

电热板的形状有圆形、方形、平板形、凸形和凹形 等等 如图 1-5 所示。

1.2.4 带状电热元件

带状电热元件简称电热带。它的外形呈圆形或扁形，像一根柔软的带子，因此而得名。国外也称为哈发平片或电热线。

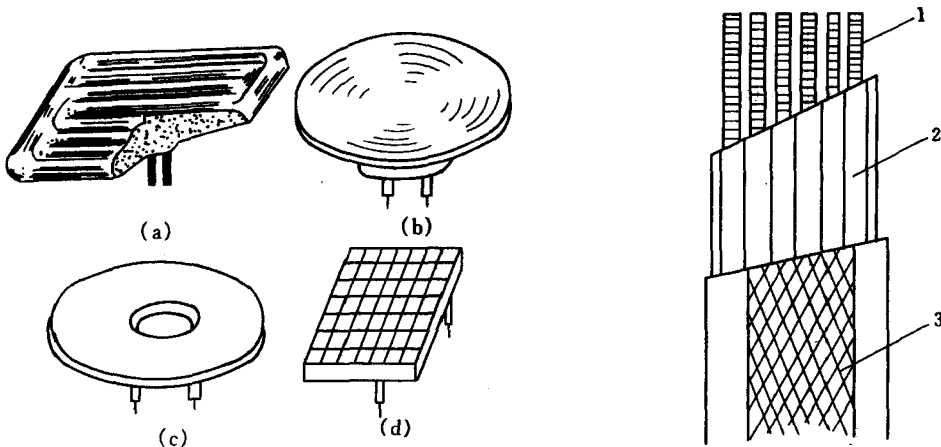


图 1-5 电热板的几种外形结构

1. 电热丝 2. 耐高温的绝缘体 3. 编织物

图 1-6 带状电热元件结构示意图

它的结构主要由三部分组成，如图 1-6 所示。最里层是采用镍铬、铜铬或硅-石墨纤维制作的圆形或扁形电热丝，常由 6 根、8 根或 12 根平行组成扁平的宽带。当中一层是耐高温的绝缘体，如硅橡胶、玻璃纤维和石英纤维等。最外面一层是编织物。

一条完整的电热带，在发热体两端用不发热的绝缘软导线引出，再接电源。

带状电热元件按使用条件可分为不防潮、防潮、防水和防爆四种。按工作温度又可分为 100 ℃、250 ℃、450 ℃和 800 ℃等 4 个等级。

带状电热元件的规格单根长度划分有 1 m 到 100 m 按单位长度功率划分有 10 W/m 至 230 W/m, 高温型的可达 800 W/m。

1.2.5 薄膜状电热元件

薄膜状电热元件可制成片状和带状，如图 1-7 所示。它常以康铜箔和康铜丝作为电热材料，以聚酯亚胺薄膜作为绝缘体，因此，具有良好的电气、机械性能且耐老化、耐粒子辐射。

薄膜状电热元件的厚度常用的是 0.12~0.14 mm，它的重量只有相同硅橡胶电热元件的 1/5~1/3。

薄膜状电热元件的电阻稳定性很好。当温度在 150 ℃~196 ℃变化范围内，其阻值相对于 20 ℃时的变化不超过 ±1%。

许多小家用电热器具中常用薄膜状电热元件作为电热元件。薄膜状电热元件的安装方式常用环氧树脂胶粘剂粘贴。

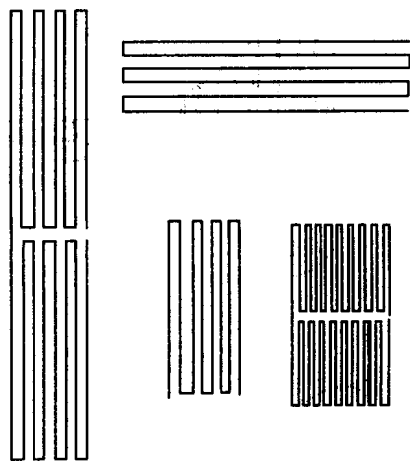


图 1-7 薄膜状电热元件

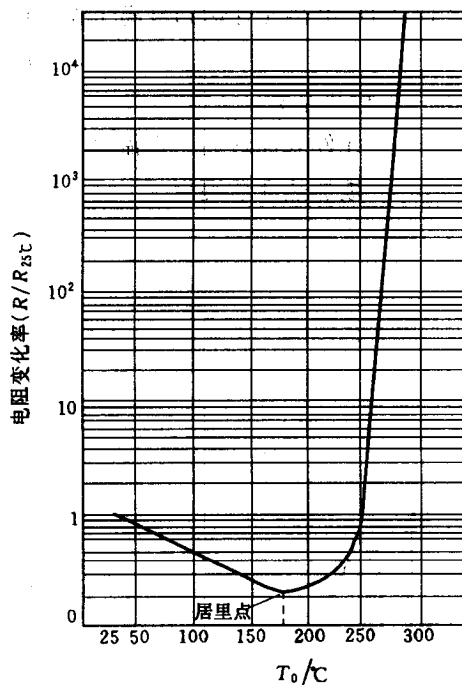


图 1-8 PTC 电热元件的电阻温度特性

1.2.6 PTC 电热元件

PTC (POSITIVE TEMPERATURE COEFFICIENT OF RESISTIVITY) 电热元件是一种正温度系数的热敏电阻。它具有加热效率高、无明火使用及安全可靠等优点，并且还具温度自限

能力 因此,1960 年以来被广泛使用。PTC 电热元件具有以下几个特性:

1. 电阻温度特性

PTC 电热元件的电阻温度特性如图 1-8 所示。起始时,PTC 电热元件具有负温度系数特性,其电阻值随温度的上升而下降,一般电阻率为 $0.1 \sim 10 \Omega \cdot m$ 左右,变化率并不大。当温度升到 T_0 点时,阻值最小。当温度越过 T_0 点,PTC 电热元件的电阻值随温度的上升而急剧上升,增加的倍数可达到 $10^3 \sim 10^5$ 倍以上,具有很大的正温度系数特性,从而使电路中通过的电流减少,功率下降,元件发热量减小,元件表面温度下降。

随着元件表面温度的下降,PTC 电热元件的电阻值急剧减小,电路中的电流又增大,功率增加,元件表面温度又上升。

PTC 电热元件在电路中会反复出现上述变化,最终促使元件表面保持一个恒定的温度值。这就是 PTC 电热元件的温度自限能力。

PTC 电热元件的 T_0 点就称为居里点, T_0 点的温度称为居里温度。

2. 电流 - 电压特性

PTC 电热元件接通电压后,电流将随着电压的增大而迅速增加;当到达居里点温度后,电流到达最大值;电热元件进入 PTC 区域,如果电压继续增大,其电流反而很快减小,如图 1-9 所示。这时,PTC 电热元件达到最高工作温度,PTC 所消耗的功率为

$$P = IU = D(T_1 - T_2) \tag{1-1}$$

式中, D ——放热系数;

T_1 ——元件表面最高工作温度;

T_2 ——被加热介质温度。

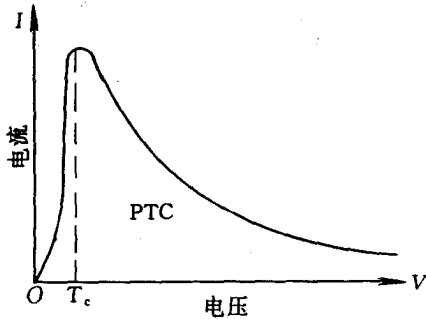


图 1-9 电流 - 电压特性

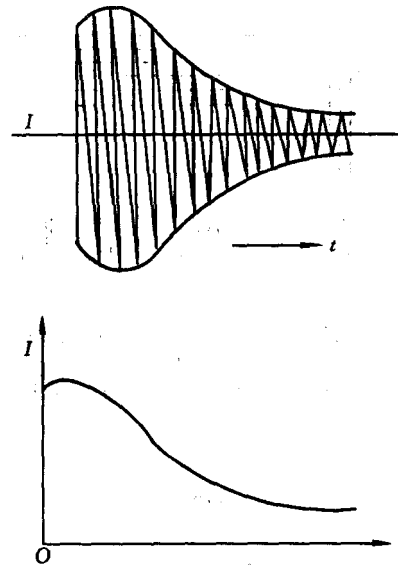


图 1-10 电流时间特性

从上式可以看到,一个 PTC 电热元件一旦制造完成,它的工作温度基本确定,放热系数 D

将随使用环境的风速变化而略有变化，而它的发热功率就将随外部环境条件 T_2 的变化而改变。也就是说， T_2 越低，散热条件越好，PTC 的发热功率就越大，反之就越小。这个特性显示 PTC 电热元件有随环境温度的需要而自动调节功率输出的功能。

3. 电流时间特性

PTC 电热元件通电后，其电流随时间变化从零增大到居里点时的最大值，再随时间的延长而减小到达稳定值，其随时间的变化曲线如图 1-10 所示。

PTC 电热元件之所以具有上述特性，是因为它使用纯度较高的钛酸钡（ BaTiO_3 ）作原料，掺入 0.3% 的镧族元素烧结而成。PTC 电热元件居里点 T_0 的温度就是其最高的工作温度。为了适合不同用途对温度范围的不同要求，可通过改变掺入杂质的方法，来改变居里点 T_0 的温度。用不同的镧（La）族元素来转换钛酸钡中的钡，可把居里点移向高温侧或低温侧。例如，用锡（Sn）、锶（Sr）或锆（Zr）掺杂，可使居里点向低温侧移动；而添加铅（Pb）则可使居里点向高温侧移动。通过这种方法可得到居里温度在 $100\text{ }^\circ\text{C} \sim 350\text{ }^\circ\text{C}$ 范围内某一温度值的 PTC 电热元件。

当然在设计 PTC 电热元件时需考虑它的放热系数、膨胀系数、静特性、非线性电阻效应和结构参数的影响。制造时还需考虑它的晶粒、厚度及电极的形成方式，可通过适当的计算来确定。

目前生产的 PTC 电热元件有圆盘式、蜂窝式、口琴式和带式等多种，广泛应用于各种电热器具中。

1.2.7 电能与热能的转换

所有电热器具都是由电能转换成热能的装置。由电能转换成热能所得到的热量可按焦耳楞次定律计算：

$$Q = I^2 R_t \cdot \Delta t_s \quad (1-2)$$

因 $P = I^2 R_t = \frac{U^2}{R_t}$ ，又 $\Delta t_s = 3600 \Delta t_h$

则式 (1-2) 变为

$$Q = \frac{3600 U^2}{R_t} \Delta t_h = 3600 P \cdot \Delta t_h \quad (1-3)$$

式中， Q ——电热元件发出的热量（J）；

U ——电热元件两端的工作电压（V）；

I ——通过电热元件的电流（A）；

R_t ——电热元件工作状态下的电阻值（ Ω ）；

Δt_s ——通电时间（s）；

Δt_h ——通电时间（h）；

P ——电热元件的电功率（W）。

上式中的 R_t 是指电热元件的纯电阻值。若遇到电路中存在电感和电容且不可忽略时，需用阻抗 Z 来计算：

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (1-4)$$

电抗包括容抗 X_C 和感抗 X_L 其关系式为

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad (1-5)$$

$$X_L = 2\pi fL \quad (1-6)$$

$$X = X_L - X_C \quad (1-7)$$

式中, f ——交流电频率 (Hz);

L ——电感量 (H);

C ——电容量 (F)。

此时, 电路的功率因素为

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} \quad (1-8)$$

例 1-1 有一只电饭锅, 电热元件的电阻值为 92Ω 若煮饭 15 min , 问该电饭锅吸收了多少热量 (不计热量损耗)?

解

$$\begin{aligned} Q &= \frac{3600U^2}{R_t} \cdot \Delta t_h \\ &= \frac{3600 \times 220^2}{92} \times \frac{15}{60} \text{ J} \\ &\approx 4.73 \times 10^5 \text{ J} \end{aligned}$$

电热器具由电能转换成热能后, 它都需通过对流、传导和辐射的方式把热量传递给食品。在这传递过程中存在热量损失, 食品得到热量的多少可通过对流换热、传导方程式和辐射四次定律来计算。具体计算可参考其他相关书籍, 在此不作详细介绍。

1.3 控制元件

电热器具的控制元件有温控元件、时控元件和功率控制元件三大类。

1.3.1 温控元件

常用的温控元件有控温器和限温器两类。控温器能控制发热温度的高低, 限温器限制发热温度的高低。

温控元件按结构不同又可分热双金属片控温元件、磁性控温元件、热敏电阻和热电偶等多种。现分别介绍如下:

1. 热双金属片温控元件

热双金属片温控元件是由两层或两层以上热膨胀系数不一样的金属或合金, 沿着整个接触面, 彼此牢固结合的片状复合材料, 再与一副触点配合而成。其中一层金属的热膨胀系数小, 另一层金属的热膨胀系数大。常温下, 双金属片保持平直, 使触点接通或断开, 当它受热时, 膨胀系数小的金属伸长少, 膨胀系数大的金属伸长得多, 因此, 双金属片向热膨胀系数小的方向弯曲。弯曲产生的位移可用来使电路上触点断开或接通。这就是热双金属片控温元件的工作原理。



图 1-11 热双金属片温控原理示意图

热双金属片温控元件有常闭型和常开型两种，如图 1-11 所示。所谓“常闭型”，就是它在冷态时，电触点是闭合的，只有当它受热达到一定程度时，该双金属片弯曲，使电路断开。所谓“常开型”，就是它在冷态时，电触点处于断开状态，当它受热并达到一定程度时该金属片弯曲，才使电路闭合。

在实际应用中，根据用途不同，又做成不同的形状，有单支点形、双支点形、不等宽形、U形和碟形等多种类型，如图 1-12 所示。

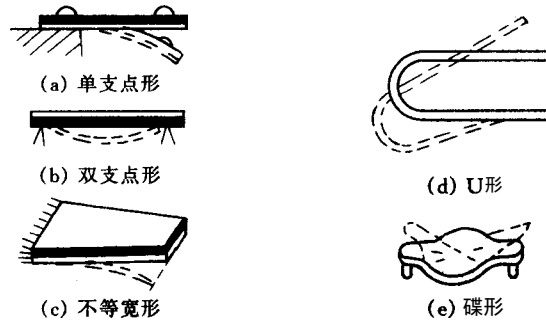
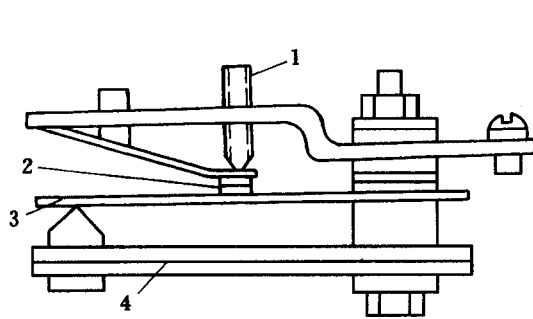


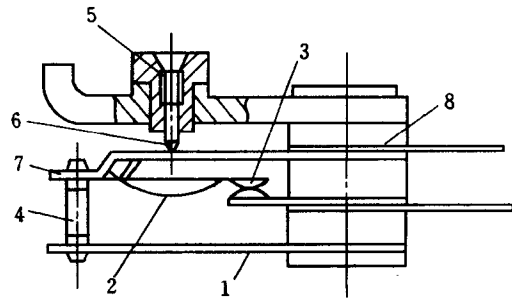
图 1-12 双金属片的形状

由双金属温控元件组成的温度控制机构称为双金属温控器。常用的双金属温控器有缓动式和闪动式两种，并常采用一个螺钉来实现温度调整，如图 1-13 和图 1-14 所示。



1. 温控调节螺钉 2. 温控触点 3. 动簧片 4. 热双金属片

图 1-13 缓动式温控器结构



1. 热双金属片 2. 贮能簧片 3. 触点 4. 瓷珠 5. 温控调节螺钉 6. 瓷珠 7. 弹性机构 8. 瓷环

图 1-14 闪动式温控器结构

缓动式温控器的双金属片受热后 依靠双金属片变形量的逐渐增大 缓慢地使触点通断 其通、断的过程中，会有电弧产生，易使触点熔化而焊死失效。触点动作寿命通常只有 3 000 ~ 4 000 次。常用于电饭锅、电烤箱和电熨斗等电热器具中。

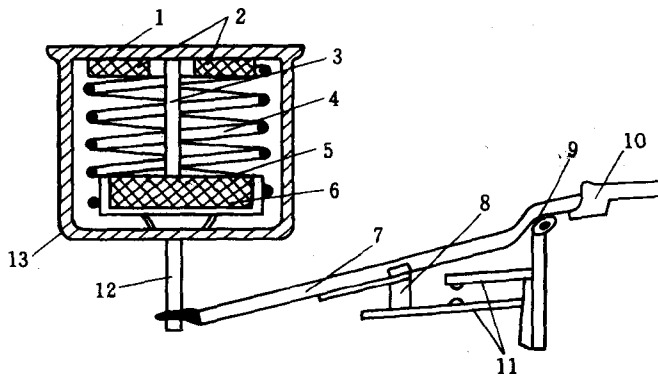
闪动式温控器比缓动式温控器多设计了一个弓形贮能簧片，当双金属片受热达到某一程度时，弯曲产生一定的位移量，触点在弓形贮能簧片的帮助下，能迅速接通或断开，减少电弧的产生 延长使用寿命（可以正常动作 50 000 次左右）

温控器上常安装一个温度调节螺钉，用来调节控制温度的高低。

由于双金属片温控器结构简单、动作可靠且价格低廉，因此，被广泛应用，几乎达到 85% 以上。

2. 磁性温控元件

磁性温控元件常见的是磁钢限温器，被广泛应用于自动保温式电饭锅和电水壶中。它的结构如图 1-15 所示。在磁钢限温器金属外壳里面的上部固定安装一片居里温度很低的软磁片 2。下部安装一片居里温度很高的硬磁片——永久磁钢 6 其磁感应强度为 0.075~0.09 T。两磁片之间用耐温弹簧 4 连接 永久磁钢 6 的下面安装有连杆 12，插在杠杆 7 的一端，杠杆的另一端是开关按钮 10。



1. 铝导热片 2. 感温软磁片 3. 导柱 4. 耐温弹簧 5. 磁钢定位片
6. 永久磁钢 7. 杠杆 8. 绝缘块 9. 开关支柱 10. 开关按钮
11. 触点 12. 连杆 13. 金属外壳

图 1-15 磁钢限温器结构原理图

常温下，环境温度低于软磁片的居里温度时，按下开关按钮 10，硬磁片与软磁片就互相吸引，其吸力大于耐温弹簧 4 的弹力和永久磁钢 6 的重力之和 因此 硬磁片带动杠杆 7 被托起 贴 近于软磁片 2。使得与电路连通的触点 11 接通，电热元件通电发热。

当温度升高时，软磁片的磁感应强度随着温度的升高而降低，硬磁片与软磁片之间的吸力逐渐减小。当温度超过预定值，升到软磁片的居里温度时，磁感应强度急剧下降，并趋近于零。这时，两磁片之间的吸力小于永久磁钢的重力与弹簧弹力之和，于是永久磁钢带动杠杆落下，压迫触点，使电路断开，电热元件停止加热。

用于自动保温式电饭锅中的磁钢限温器的动作温度为 $(103 \pm 2) ^\circ\text{C}$ 因为饭熟前 锅内有水，

温度不会超过 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 磁钢限温器不会动作。当饭熟后 锅内无水 温度才会超过 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 并继续上升,当升到 $(103\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,限温器动作,切断电源,表示饭已烧熟。

用于电水壶中的磁钢限温器的动作温度是 $(98\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

磁性材料是磁钢限温器的关键材料。硬磁片一般用钡铁氧体 ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) 和锶铁氧体 ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$) 制作。其中锶铁氧体材料的成分是碳酸锶 (SrCO_3) 占 14% , 三氧化二铁 Fe_2O_3 占 86% 。

软磁片有铁氧体软磁片和合金软磁片两种。常用的是镍锌铁氧体,它的主要成分是氧化镍占 11% ,氧化锌占 22% 三氧化二铁占 67% 。若镍的成分增多,居里点随之增高;反之,锌的成分增多,居里点会随之下降。

磁性温控元件结构简单,控制精度高,一般可控制在 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

3. 热敏电阻温控元件

热敏电阻温控元件就是负温度系数的热敏电阻,其阻值随温度的升高按指数规律下降。在电子线路中,常把它作为温度传感器使用,让它感知温度的变化,并变成电阻值的变化,继而变成电压的变化,再送到放大电路放大,驱动电路驱动执行机构,控制电热元件的加热与否,从而达到调节温度的目的。

热敏电阻按其结构形状可分杆式、圆片式、垫圈式和电阻珠等 4 种。

热敏电阻有控温精度高(约 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$),控温参数调节方便等优点,故普遍应用在自动控制系统中。如日本东芝电冰箱的电子温控器就使用热敏电阻作为传感器。

4. 热电偶温控元件

热电偶温控元件是利用“温差电效应”制成的,是将温度的变化量转变为微小的电势变化量,然后经放大用来控制执行机构。

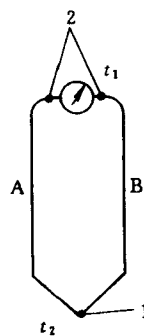
如图 1-16 所示 A、B 两根金属(如铜和康铜,也可以是镍铬和镍铝等)的一个端点焊接在一起,称为工作端或热端,另一端串联一只检流计形成回路,并称为自由端或冷端。把工作端置于待测温度 t_1 中若自由端的温度为 t_2 ,则在一定的温度范围内,热电偶内产生的电动势和两接点间温度 $\Delta t = t_1 - t_2$ 成正比。在自动控制系统中,可把这个电动势放大后去控制执行机构,从而达到控制温度的目的。

热电偶的优点是结构简单,使用方便,控制精度在 $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,温度控制范围宽。缺点是系统较复杂,价格较高。目前只应用在大型电热器具中。

5. 形状记忆温控元件

形状记忆温控元件是一种采用形状记忆合金制成的温控元件。而形状记忆合金则是一种具有形状记忆效应和弹性特性的特殊功能的新型材料。

所谓形状记忆效应就是合金在室温下加工产生塑性变形,而加热升温达到某一临界温度时,又立即恢复变形前的形状。例如 拉直的弹簧 加热后可以恢复成螺旋状 压扁的管子 加热后恢复成圆形。利用这种形状记忆效应可以简单地将热能转换成机械能,从而制成控温元件,应用于家用电器中。



1. 工作端 2. 自由端
图 1-16 热电偶的工作原理

目前常用的是 NiTi 和 Cu 基合金两种。前者价格昂贵 后者价格便宜。

1.3.2 时控元件

时控元件简称为定时器，是一种控制家用电器通电时间长短的开关装置。

定时器的种类很多，分类方法也不统一。按时间长短可分为 0~5 min、0~15 min、0~30 min、0~60 min、0~6 h、0~12 h 和 0~24 h 等多种；按用途可分常闭型定时器和常开型定时器；按配用的家用电器不同可分电风扇定时器、洗衣机定时器、电烤箱定时器、电饭锅定时器和通用定时器等；按结构原理可分为机械式定时器、电动式定时器和电子式定时器，等等。

定时器的结构原理将在电风扇、洗衣机等章节中作详细介绍。

1.3.3 功率控制元件

功率控制元件有转换开关调位控制、整流二极管功率控制电路和电子调功率控制电路三种。

1. 转换开关调位控制

这种方法是利用组合开关、转换开关等，对几支电热元件进行串联、并联、接通或断开等不同组合，从而获得大小不同的功率。其原理简单、工作可靠，得到广泛应用。

2. 整流二极管调功率控制电路

整流二极管调功率控制电路如图 1-17 所示。

这种电路常用在电热毯上。它分高温与低温两挡。高温挡把 220 V 交流电压全部加在电热元件两端，电压最高，电热元件的发热功率与工作电压的平方成正比：

$$P_0 = \frac{U^2}{R} \quad (1-9)$$

此时，电热元件发热功率最大，加热效果最好。低温挡是把 220 V 交流电压经二极管半波整流后再加到电热元件两端。众所周知，半波整流后的电压平均值是原来的 0.45 倍，因此，

$$P = \frac{(0.45U)^2}{R} = \frac{0.2025U^2}{R} = 0.2025P_0$$

加到电热元件上的电压有效值只有 0.45 倍，其发热功率只有原来的 0.2025 倍，从而控制了电热毯的温度。

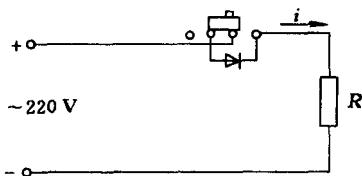


图 1-17 整流二极管调功率控温电路

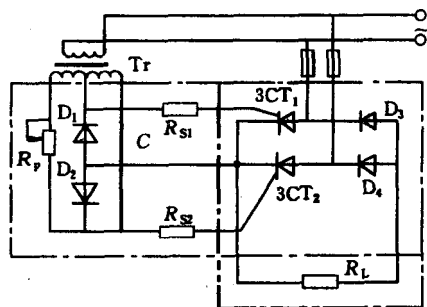


图 1-18 电子调功率控温电路原理图

3. 电子调功率控温电路

电子调功率控温电路是利用改变可控硅导通角的相位，来改变电热元件的工作电压，从而产

生不同功率的如图 1-18 所示是电子调功率控温电路原理图。主回路是单相桥式半控线路，220 V 交流电压经可控硅整流后，加在电热元件 R_L 两端。触发器是一个阻容移相桥，通过二极管 D_1 、 D_2 分别在正、负半周时对可控硅 $3CT_1$ 、 $3CT_2$ 输入控制信号， R_{s1} 、 R_{s2} 是控制极的限流电阻。调节电位器 R_p 使触发正弦波移相，改变可控硅的导通角，来达到控制和调节功率的目的。

这种电路的优点是成本低，操作方便，对功率可进行无级调节。缺点是对电网有干扰，稳定性差。

1.4 家用电饭锅

电阻式电热器具是所有的电热器具中使用得最多的一类，而在电阻式电热器具中，尤以电饭锅使用得最为普遍。故在此，重点介绍电饭锅的结构原理。

1.4.1 电饭锅的种类与规格

电饭锅是一种将电能转变为热能来烧饭的装置，由于它有温度到达 103 ℃ 时能自动断开电路的温度自限能力和保温（保持在 $(65 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ ）能力，使用方便、安全，深受广大用户的欢迎。

电饭锅的分类如表 1-5 所示。常见规格如表 1-6 所示。

表 1-5 电饭锅的分类

分类方式	种类		特点
结构形式	组合式		早期的一种型式，锅体与电热座分开
	整体式	单层	锅体只用单层金属制作
		双层	锅体由外锅和内锅两层组成，是我国目前使用最多的结构
		三层	锅体分内、中、外三层
控制方式	普通式		能煮饭而不能保温
	保温式		饭熟后自动保温
	定时启动保温式		可以设定煮饭开始时间，饭熟后还会自动保温
	电脑控制式		由集成电路控制烧饭的各种功能
	模糊控制式		采用模糊控制技术控制电饭锅的各种功能
压力式	低压式		与上述各种电饭锅相同
	高压式		结合高压锅的功能制造的电饭锅