

# 关于红外加热技术及其应用的讨论(三)

## 对红外加热技术及其节能机理的看法

侯 兰 田

(吉林大学物理系原子与分子物理所)

世界上消耗的能源中用于加热的部分相当大,而热能的有效利用率只有 23~30%,这 30% 是最大的提取部分,或叫做有用能源,它是由具有理想功率(卡诺功率)机器作功时所能完成的功的数量。可见,有 70% 的余热被浪费了。因此,节能的关键是能源系统的综合利用,也就是说,实现多能源系统的互相连接,能源的多种运用形式的协调结合,实现有效的“余”热利用,才是最根本的措施。

要实现上述做法,从技术上讲,应该制造出各种形式的节能的设备、元件和材料;这还不够,还必须推广节能的科学方法,使这些节能的设备、元件和材料在最科学、最合理的条件下结合起来,才能实现我们的节能目的。红外辐射加热节能就是其中一种科学方法,这种方法不能孤立地运用,一定要把它和其它的节能形式有机地联系起来,才能充分发挥其作用。

### 1. 关于三种传热方式

辐射、传导、对流这三种传热方式总是同时存在的,在不同的情况下,以某一种方式为主,其它方式为辅,没有例外。

对流加热,是通过气体分子同被加热物体的碰撞,把自己动能的一部分转化为物质的晶格振动能,气体分子的剩余能量仍然要大于从物体排出的某种物质的分子动能,因此,对流加热时,总要被工质带走相当一部分能量,这是无法避免的损失。

传导加热,是通过接触点进行能量传递,同时在被加热物质内部伴随有物质的流动(除声子的过程之外,有电子的移动)。这种传热方式只适用于导热好的物质。但是,它不可避免地出现局部过热点,造成加热不均匀。

辐射加热,是不需要中间介质而把能量直接从一个物体传递给另一个物体。这样的能量传递,没有工作物质造成的损失,没有被加热体的局部过热点,传递的速度又最快。因此是一种优越的加热方式。

从能源的利用来看,假如一个物体的表面温度是  $100^{\circ}\text{C}$ ,环境温度是  $17^{\circ}\text{C}$ ,它的每平方厘米面积上可以提供出的辐射功率为  $9.17 \times 10^{-2}$  瓦,对流功率为  $6.32 \times 10^{-2}$  瓦。如果是  $300^{\circ}\text{C}$  的物体表面,相对于  $17^{\circ}\text{C}$  的环境温度,每平方厘米可提供出辐射功率  $6.51 \times 10^{-1}$  瓦,对流功率为  $2.48 \times 10^{-1}$  瓦。可见在低温下,一个热物体表面提供的辐射能远大于提供的对流能,随着温度的增加,其差别就更加明显(注),辐射加热的优越性就越大。问题在于,如何增大热源的辐射能,如何使被加热体获得最大的吸收即实现有效的加热。

## 2. 什么是最好的红外加热源

为了增加红外加热源的红外辐射能,人们研究了各种各样的高发射率的材料与涂料,并制造了各种直热式和间热式的红外元件。除开其它形式的加热以外,单就用电加热的元件进行分析,看它们有些什么作用与差别。

任何一种间热式的加热元件,都是把电热丝埋在或装置在一种高发射率的材料中。我们知道,每千瓦小时电功产生 860 大卡的热量,这是个不依赖于材料特性的不变数值。当电功率一定时,加热源的平衡温度是由它自身的热容量大小、热损失的大小而决定的。一个电热丝放入与不放入碳化硅板中,只要电功率一定,它们获得的总热量就是相等的。有碳化硅板时,因为热质量增大,发射率  $\epsilon$  增大,所以碳化硅板的温度远低于同功率的电热丝的温度,总的红外辐射功率也不会增加。在实际使用中这种元件之所以有节能作用,最主要的是由于实现了最大辐射峰值的移动。在总功率相同的条件下,把最大辐射峰的位置从短波处移向长波处,这一点使得碳化硅板在很多适宜的情况下获得了节能的效果。其次,由于碳化硅板质量大,热起伏小,温度的稳定性好;又由于把辐射源的面积增大了,辐射场变得更加均匀了,这两点都对形成稳定的热场有很大益处。

任何一种直热式的加热源,当增加它的发射率  $\epsilon$  以后,由于辐射能增加,在相同电功率的情况下,它的热平衡温度就要降低。但是不能误认为,温度下降会引起辐射能下降;其实,恰恰相反,辐射源的温度之所以下降,就是因为把一部分用以升温的热能转变成辐射能发射出去了。所以,辐射能比原来增加了。当然辐射的峰值也有较小的移动,要特别说明,提高高温发射率  $\epsilon$  非常重要,哪怕增加 0.05 也会带来很大的益处,因为它是与温度的四次方相乘。所以绝不可忽视。

由此,我们可以粗略地说,在低温下的红外加热取直热式或间热式元件都可以,在高温下加热应以取直热式为宜。但是,有了良好的辐射源,是否就一定能够实现节能?不是。能不能实现节能,还要看被加热物体是否能最大地吸收能量,这一点是十分重要的。

## 3. 物体对红外辐射的吸收

物体对红外辐射的吸收机制是多种多样的,除本征吸收外,尚有晶格的直接吸收,载流子吸收,激子吸收,杂质、缺陷吸收,以及由结构因素所造成的吸收等等,它们都能和晶格交换能量。细川修克的匹配吸收的概念是明确的,我们在以前的文章中对于匹配吸收的特点已经作了分析,这里不再重复。匹配吸收不应该用有效吸收去代替。似乎也不应该把全吸收叫做匹配吸收。

什么是非匹配吸收,如何应用它,我想再说明一下。对于透明和半透明物体,其主要吸收区为本征吸收所造成,同时由于弹性常数的空间和时间调制作用,以及声子间非谐相互作用,出现了二声子和多声子的过程,他们的上转换吸收带为合频声子和倍频声子所造成的新吸收区,它们的下转换吸收峰,是由二声子和多声子的差频和混频而出现的。这两个新的吸收区,明显地与材料的厚度有关系,这个区域就是我们所说的穿入深度较大的非匹配吸收区中的主要部分。因为在这个波段范围内,湮灭一个光子,可以直接产生两个声子或几个声子,而吸收光子又是非本征的,因此这样的光子可以进入物体的较深的部位和晶格交换能量。而在本征吸收区,由于吸收系数太大,是不可能进入物体的深部的。

---

〔注〕 计算对流能的公式为:  $a = 2 \Delta\theta^{0.25} \times 10^{-4}$  瓦/厘米<sup>2</sup>度, 其中  $a$  为对流系数,  $\Delta\theta$  为流体与平面(物体)之间的温差。

对于不透明物体,则应由它的反射光谱来确定它对辐射吸收的情况。当然它也存在着本征吸收区,多声子吸收区,杂质和缺陷等吸收。除本征吸收以外的吸收区域,都依赖于物质的厚度,这些区域就是我们所说的非匹配吸收区。为什么叫“非”匹配吸收?因为这种吸收虽然不直接依赖于本征吸收,但是与它有关系的。而且,由于要求吸收的深度不同,可以对应于不同区域。所以,相对于“匹配吸收”而言,就叫做“非”匹配吸收。

是否被加热物料的全吸收率达到最大,就有最好的加热效果呢?例如对于粮食的加热,如果我们让它的外皮也接受到最大的辐射加热时,就会严重地损害外壳而出现粉碎现象。对于各种粮食加热干燥,一定要选择外皮不吸收的辐射波段来加热它,而绝不能采用与外皮吸收光谱相匹配的辐射源。所以说,要视具体情况而定。

在非匹配吸收波段内,物体表面状态是有影响的。但是,由于表面粗糙度所引起的吸收率的变化,通常是“黑”的,也就是说,它对各个波段的影响基本上都是一样的,并没有选择吸收峰出现。因此,在考虑吸收机制时,不必对此加以讨论。只是在作工程计算,测定材料的发射率和吸收率时,才要把这种因素估计进去。当然,除非表面是经过抛光,或其粗糙度可与波长相比拟时,才要考虑它的影响(这是很特殊的情况)。

红外辐射穿入物体的深度是与物体的种类、辐射的强度、光子的能量大小有关系的。根据我们对木材光谱的测量发现,如果用50微米以后的波长照射木材,经过测量和计算,是可以达到几个厘米深度,只是要获得很强的50微米的辐射是很困难的。因此,我们只能实际测量各个波长对不同的物体的透深度才能获得正确的结论。

事实上,辐射进入物体的深度,决定于光子的能量(波长),而到达某一深度的光子数量,决定于辐射强度。什么波长范围的辐射能够进入物质内部又决定于物质本身。

#### 4. 关于平衡热交换和辐射加热

辐射、传导、对流这三种传热方式总是相互联系着的。在被加热物体的内部,总要进行热的传导,在物体的表面上,总是同时接收辐射能,又有对流的影响,否则从被加热物体表面逸出的气体就不会被带走。整个加热过程总是非平衡的过程。因此,通常只能说那一种传热方式为主。但是,也有一种加热的形式,这里很难说明它是那种形式为主,例如:住房的取暖,人们不能单靠着辐射能取暖,也不能只用对流和传导方式来取暖,而是通过人体和环境的热交换来取暖。所以,取暖设备首先加热的不是人而是空间中的介质;类似的情况也存在于某些干燥设备中、被加热物质是通过和环境的热平衡的过程来获得能量,这种设备节能的关键技术是绝热的好坏,只要设备本身的热损失小,就会获得良好的效果。

总之,我们认为,对薄的物体加热,应按匹配吸收理论进行设计,对于较厚的物体加热,如果内部传递速度高于表面向空间的传递速度,仍然可以采用“匹配吸收”的理论去设计,如果相反,则必须按照非匹配吸收的理论进行设计。任何物体对辐射的吸收,总是存在着本征吸收区(不依赖于厚度),多声子过程等引起的吸收区(依赖于厚度),和透过较大或反射较强的区域。物体的表面状态不会改变材料的吸收本质,只能影响吸收率,而它对任何波段的作用都基本相同。红外辐射对物体的穿入深度要靠测量去计算它,依靠估计是难于理解的。

最后,我们可以说,只有有了优良的加热元件,有了优良的加热装置和设备,有了科学的方法,才能达到节能的目的。

(本文1983年9月19日收到)