

传热分析

热量传递是由于温度差而产生热量从高温区向低温区的转移，与动量传递、质量传递并列为三种传递过程。在自然界中，热量传递是一种普遍存在的现象。两物体间或同一物体的不同部位间，只要存在温差，且两者之间没有隔热层，就会发生热量传递，直到各处温度相同为止。

热流量：单位时间内通过整个传热面积所传递的热量；

热通量，又称热流密度：单位时间内通过单位传热面积所传递的热量。

热量传递的三种基本方式

热量传递有热传导、对流传热和辐射传热三种基本方式，三种热传递方式的举例见图 1。

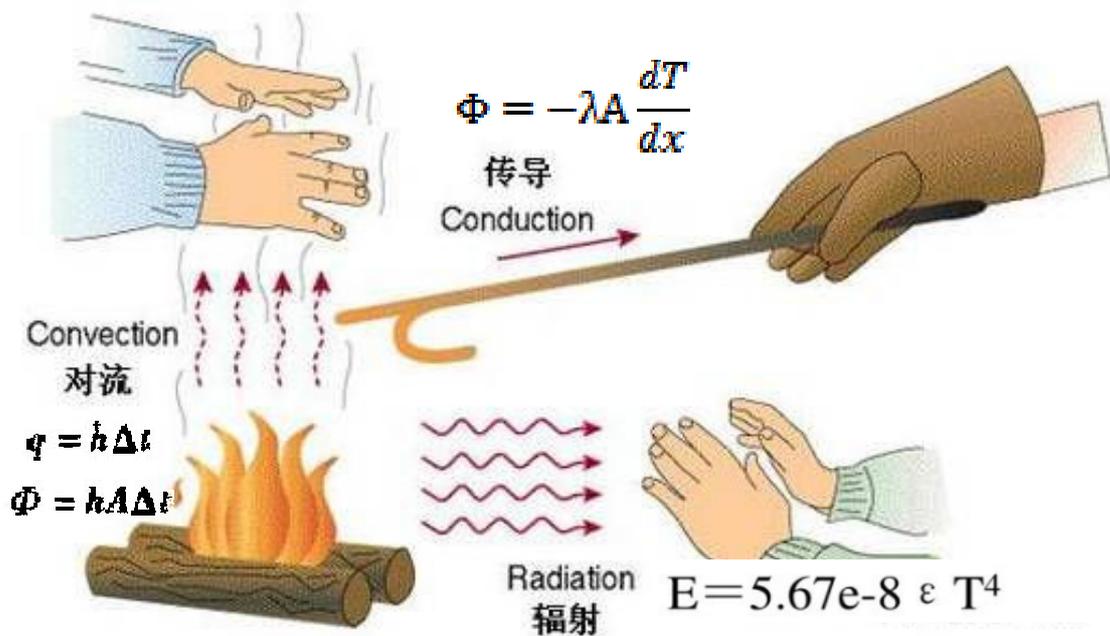


图 1 热量传递的三种基本方式

1. 热传导

物体各部分之间不发生相对位移时，依靠物质的分子、原子及自由电子等微观粒子的热运动而产生的热能传递称为热传导。例如，固体内部热量从温度较高的固体把热量传递给与之接触的温度较低的另一个固体的导热现象。

热传导遵循傅里叶定律：单位时间内通过单位截面所传导的热量，正比于当地垂直于截面方向上的温度变化率。

$$\Phi = -\lambda A \frac{dT}{dx}$$

式中： Φ 为热流量，单位W； A 为横截面积； λ 为导热率，单位为W/m·K。

导热系数是表征材料导热性能优劣的参数，是一种热物性参数。不同材料的导热系数值不同，即使是同一种材料，导热系数值还与温度等因素有关。一般，金属材料的导热系数最高，良导电体（如银和铜），也是良导热体；液体次之；气体最小。

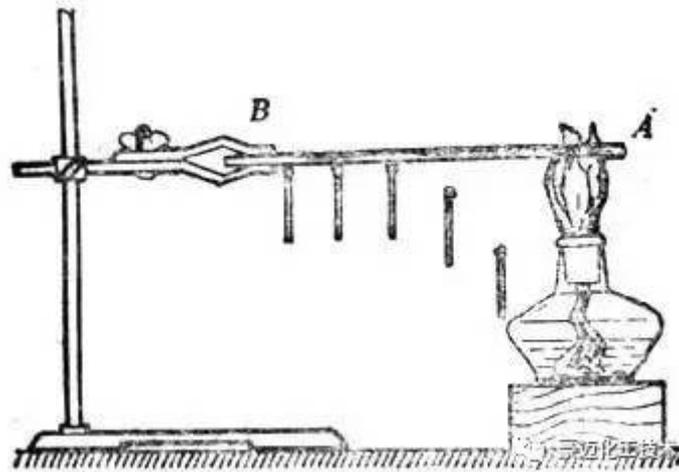


图2 金属的热传导试验

2. 热对流

热对流是指由于流体的宏观运动而引起的流体各部分之间发生相对位移，冷、热流体相互掺混所导致的热量传递过程。热对流仅能发生在流体中，而且由于流体中的分子同时在进行着不规则的热运动，因而热对流必然伴随着热传导现象。

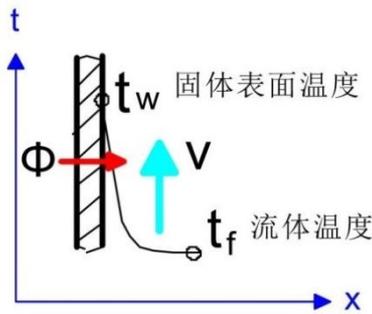
工程上特别感兴趣的是流体流过一个物体表面时与物体表面间的热量传递过程，并称之为**对流换热**。

对流换热的基本公式（牛顿冷却公式）如下，热流密度 q 可以表示为：

流体被加热时： $q=h(t_w-t_f)$

流体被冷却时： $q=h(t_f-t_w)$

其中， t_w 为壁面温度； t_f 为流体温度； h 称为表面传热系数，单位 $W/m^2 \cdot K$ 。



表面传热系数的大小与对流传热过程中的许多因素有关。它不仅取决于流体的物性以及换热表面的形状、大小与布置，而且还与流速有密切关系。就介质而言，水的对流传热比空气强烈；就对流传热方式而言，有相变的优于无相变的，强制对流高于自然对流。

表 1-1 对流传热表面传热系数的大致数值范围

过 程	$h/[W/(m^2 \cdot K)]$
自然对流：	
空气	1 ~ 10
水	200 ~ 1 000
强制对流：	
气体	20 ~ 100
高压水蒸气	500 ~ 35 000
水	1 000 ~ 1 500
水的相变换热：	
沸腾	2 500 ~ 35 000
蒸汽凝结	5 000 ~ 25 000

3. 热辐射

物体通过电磁波来传递能量的方式称为辐射。物体会因各种原因发出辐射，其中因热的原因而发出辐射能的现象称为热辐射。

导热、对流这两种热量传递方式只有在有物质存在的条件下才能实现，而热辐射可以在真空中传递，而且实际上在真空中辐射能的传递最有效。这是热辐射区别于导热、对流传热的基本特点。当两个物体被真空隔开时，例如地球与太阳之间，导热与对流都不会发生，只能进行辐射传热。实验表明，物体的辐射能力与温度有关，同一温度下不同物体的辐射与吸收本领也大不一样。在探索热辐射规律过程中，一种称作绝对黑体的理想物体的概念具有重大意义。黑体在单位时间内发出的热辐射热量由斯蒂芬玻尔兹曼定律表示为：

$$\Phi = A\sigma T^4$$

式中：T为黑体的热力学温度，单位K； σ 为斯蒂芬玻尔兹曼常量，其值为 $5.68 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ ；A 辐射表面积， m^2 。

辐射是通过电磁波来传递能量的过程，热辐射是由于物体的温度高于绝对零度时发出电磁波的过程，两个物体之间通过热辐射传递热量称为辐射换热。物体的辐射力计算公式为：

$$E = 5.67 \times 10^{-8} \varepsilon T^4$$

物体表面之间的热辐射计算是极为复杂的，其中最简单的两个面积相同且正对着的表面间的辐射换热量计算公式为：

$$Q = A * 5.67 \times 10^{-8} / (1/\varepsilon_h + 1/\varepsilon_c - 1) * (T_h^4 - T_c^4)$$

公式中T指的是物体的绝对温度值=摄氏温度值+273.15； ε 是表面的黑度或发射率，该值取决于物质种类，表面温度和表面状况，与外界条件无关，也与颜色无关。磨光的铝表面的黑度为0.04,氧化的铝表面的黑度为0.3，油漆表面的黑度达到0.8，雪的黑度为0.8。

由于辐射换热不是线性关系，当环境温度升高时，终端的温度与环境的相同温差条件下会散去更多的热量。

塑料外壳表面喷漆，PWB表面会涂敷绿油，表面黑度都可以达到0.8，这些都有利于辐射散热。对于金属外壳，可以进行一些表面处理来提高黑度，强化散热。

对辐射散热一个最大错误认识是认为黑色可以强化热辐射，通常散热器表面黑色处理也助长了这种认识。实际上物体温度低于1800℃时，有意义的热辐射波长位于0.38~100 μm 之间，且大部分能量位于红外波段0.76~20 μm 范围内，在可见光波段内，热辐射能量比重并不大。颜色只与可见光吸收相关，与红外辐射无关，夏天人们穿浅色的衣服降低太阳光中的可见光辐射吸收。因此终端内部可以随意涂敷各种颜色的漆。

稳态传热

如果系统的净热流率为 0，即流入系统的热量加上系统自身产生的热量等于流出系统的热量： $q_{\text{流入}} + q_{\text{生成}} - q_{\text{流出}} = 0$ ，则系统处于热稳态。在稳态热分析中任一节点的温度不随时间变化。稳态热分析的能量平衡方程为：

$$[K]\{T\} = \{Q\}$$

式中： $[K]$ 为传导矩阵，包含导热系数、对流系数及辐射率和形状系数；

$\{T\}$ 为节点温度向量；

$\{Q\}$ 为节点热流率向量，包含热生成。

瞬态传热

瞬态传热过程是指一个系统的加热或冷却过程。在这个过程中系统的温度随时间变化。同样质量的物体，升高/降低同样的温度，吸收/释放热量的多少，取决于比热容的大小。根据能量守恒原理，瞬态热平衡可以表达为：

$$[C]\{\dot{T}\} + [K]\{T\} = \{Q\}$$

式中： $[C]$ 为比热矩阵，考虑系统内能的增加；

$\{\dot{T}\}$ 为温度对时间的导数。