

山西能源学院教案

授课班级 能动 1701-1704 授课时间 计 2 学时

课题（章节及内容）	第一章 绪论 1.3 传热过程和传热系数 1.4 传热学的发展简史和研究方法
教学目的和要求	理解传热过程的概念，掌握基本计算公式。 了解《传热学》课程的特点和学习方法。
重点难点	传热过程的基本计算公式。
教学进程（含课堂教学内容、教学方法、辅助手段等）	教学内容：传热方程式，传热热阻，传热学发展简史、传热学的研究方法。 教学方法：讲授与练习、启发讨论、诱导式、归纳总结法。
作业布置	1-21 1-22 1-23
主要参考资料	《传热学》第四版，杨世铭，陶文铨， 高等教育出版社，2006年8月
课后自我总结分析	

山西能源学院教案

1-3 传热过程和传热系数

一、 传热过程

两流体间通过固体壁面进行的换热(热量由壁面一侧的流体通过壁面传到另一侧流体中的过程称为“传热过程”)

传热过程通常由导热、热对流、热辐射组合形成。

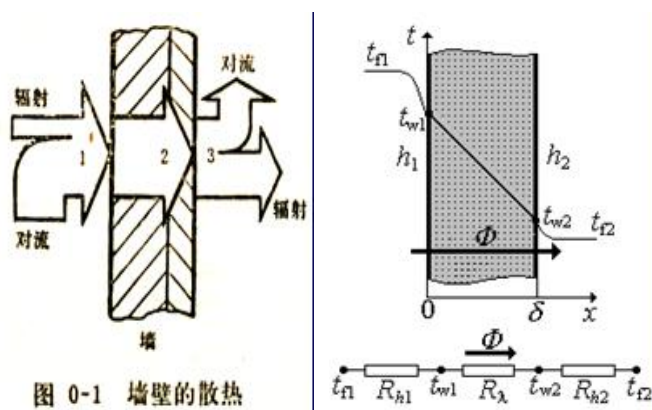


图 0-1 墙壁的散热

一般传热过程包含三个串连环节：(1) 高温流体与固体壁面的换热；(2) 通过壁面的导热；(3)低温流体与固体另一侧壁面的换热。

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi = Ah_1(t_{f1} - t_{w1}) \\ \Phi = A\lambda \frac{(t_{w1} - t_{w2})}{\delta} \\ \Phi = Ah_2(t_{w2} - t_{f2}) \end{array} \right.$$

$$\left. \begin{array}{l} \Phi = kA(t_{f1} - t_{f2}) \\ \Phi = \frac{A(t_{f1} - t_{f2})}{\frac{1}{h_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{h_2}} \end{array} \right\} \rightarrow k = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{h_2}}$$

二、 传热系数

1、概念：是指用来表征传热过程强烈程度的指标。数值上，它等于冷热流体间温差 $\Delta t = 1^\circ \text{C}$ ，传热面积 $A = 1\text{m}^2$ 时热流量的值。K 值越大，则传热过程越强，反之，则弱。其大小受较多的因素的影响：

- ① 参与传热过程的两种流体的种类；
- ② 传热过程是否有相变

说明：若流体与壁面间有辐射换热现象，上述计算未考虑之。要计算辐射换热，则：表面传热系数应取复合换热表面传热系数，包含由辐射换热折算出来的表面传热系数在内。其方法见 8 — 4 节。

• 传热系数 K 的表达式

$$K = 1 / \left(\frac{1}{h_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{h_2} \right)$$

表示 K 的构成：是由组成传热过程诸环节的 $\frac{1}{h_1}$ 、 $\frac{\delta}{\lambda}$ 、 $\frac{1}{h_2}$ 之和的倒数组成。
或写成

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{h_2}$$

或

$$\frac{1}{AK} = \frac{1}{Ah_1} + \frac{\delta}{A\lambda} + \frac{1}{Ah_2}$$

传热方程式可变为以下形式： $\Phi = \Delta t / \frac{1}{AK}$

此式与欧姆定律： $I = U/R$ 比较， $\frac{1}{AK}$ 具有电阻之功能。

由此可见：传热过程热阻是由各构成环节的热阻组成。

串联热阻叠加原则：在一个串联的热量传递过程中，如果通过各个环节的热量都相等，则串联热量传递过程的总热阻等于各串联环节热阻之和。

1-4 传热学发展史

传热学这一门学科是在 18 世纪 30 年代英国开始的工业革命使生产力空前发展的条件下发展起来的。传热学的发展史实际就是：导热、对流、热辐射三种传方式的发展史。导热、对流早为人们所认识，而热辐射是在 1803 年才确认的。

一、导热

确认热是一种运动的过程中，科学史上有两个著名的实验起着关键作用，

其一是：1798 年伦福特钻炮筒大量发热实验；其二是：1799 年戴维两块冰块摩擦生热化成水的实验。

19 世纪初，兰贝特、毕渥、傅里叶等都从固体一维导热的试验入手研究，1804 年毕渥根据试验提出：单位时间通过单位面积的导热热量正比于两侧表面温

差，反比于壁厚，比例系数是材料的物理性质。

作用：这一规律提高对导热规律的认识，只是粗糙些。

1807 年傅里叶：特别重视数学工具的运用，把实验与理论结合起来，提出求解微分方程的分离变量法和可以将解表示成一系列任意函数的概念，得到学述界的重视。特别是：1822 年论著《热的解析理论》完成了导热理论的任务，提出的导热基本定律“傅里叶定律”，导热微分方程，傅里叶级数正确地概括了导热实验的结果。使他成为导热理论的奠基人。

二、对流

流体流动理论是对流体换热理论必要的前提。1823 年纳维：提出不可压缩流体流动方程。1845 年，英国斯托克斯，将其修改为纳维—斯托克斯方程，形成流体流动基本方程。

其特点：复杂，适用范围小，只适于简单流动，发展困难。

1880 年，雷诺提出一个对流动有决定性影响的无量纲物理量雷诺数。通过实验发现：管内层流 → 湍流转变时，雷诺数在 1800~2000 之间。在雷诺的基础上，1881 年洛仑兹自然对流解。

1885 年格雷茨和 1910 年努塞尔获得管内换热的理论解。1916 年努塞尔凝结换热理论解又获得。

分别对其对应的理论有所贡献，但进展不大。特别是 1909 年和 1915 年努塞尔的论文对强制对流和自然对流的基本微分方程及边界条件进行量纲分析获得了有关无量纲数之间的准则关系。促进行了对流换热研究的发展，他的成果具有独创性，于是，他成为发展对流换热理论的杰出先驱。

在微分方程的理论求解上，以下两方面发挥了作用

其一：普朗特于 1904 年提出的边界层概念。

观点：低粘性流体只有在横向速度梯度很大的区域内才显示粘性的影响。该范围主要处在与流体接触的壁面附近，而其它区域则可以当作无粘性流体处理。

在流动边界层概念的启发下，1921 年波尔豪森又引进了热边界层的概念。1930 年波尔豪森与数学家施密特，贝克曼合作，成功地求解了坚壁附近空气的自然对流换热。

其二：湍流计算模型的发展，有力地推动了传热学理论求解向纵深方向发展。

近代发展中，麦克亚当、贝尔特和埃克特先后作出了重要贡献。

三、热辐射

在其早期研究中，认识黑体辐射的重要性并用人工黑体进行实验研究对于建立热辐射理论具有重要作用。

19 世纪斯忒藩通过实验确立了黑体的辐射能力正比于它的绝对温度的四次方的规律。后来该定律在理论上被波耳兹曼证实，从而形成斯忒藩 - 一波耳兹曼定律。

后在物体之间辐射热量交换方面有两个重要的理论问题：

一是：物体的发射率与吸收比之间的关系问题。

1859 年，1860 年基尔霍夫的两篇论文作了解答。

二是：物体间辐射换热的计算方法。

由于物体间辐射换热是一个无穷反射逐次减弱的复杂物理过程，计算方法的研究有其特殊性，先后出现了以下几种：

① 1935 年波略克的净辐射法

② 1954 年，1967 年霍尔特的交换因子法；

③ 1956 年奥本亥姆的模拟网络法。

这三种方法对完善热辐射换热的复杂计算作出了贡献。

随着科学技术的发展，测量新技术、计算机、激光技术对传热学的发展起了重要作用，特别是计算机的发展用数值方法解决传热问题取得重大突破。20 世纪 70 年代形成一个新兴分支——数值传热学。

热辐射基础理论研究中的难点是如何确定黑体辐射的光谱能量分布，在该问题中普朗克、维恩做出了一定的贡献。

① 1896 年维恩：半理论半经验方法 → 公式，计算结果是短波与实验符合，但长波段与实验不符；

② 瑞利从理论上推出一个公式，经金斯改进形成瑞利—金斯公式；计算结果是长波与实验相符，但短波与实验不符，而且随着频率的升高，辐射能无穷大，显然不合理。

③ 1900 年普朗克提出一个公式，在整个光谱段计算结果与实验符合。

其观点：提出与经典物理学的连续性概念根本不同的新假说：能量子假说。

认为物体在发出辐射和吸收辐射时，能量不是连续的，而是跳跃地变化的，即能量是一份一份地发射和一份一份地吸收，每一份能量都有一定数值，这些能量单元称为量子，按照量子理论确立的普朗克定律，正确地揭示了黑体辐射能量按光谱分布的规律——从而奠定了热辐射理论的基础。