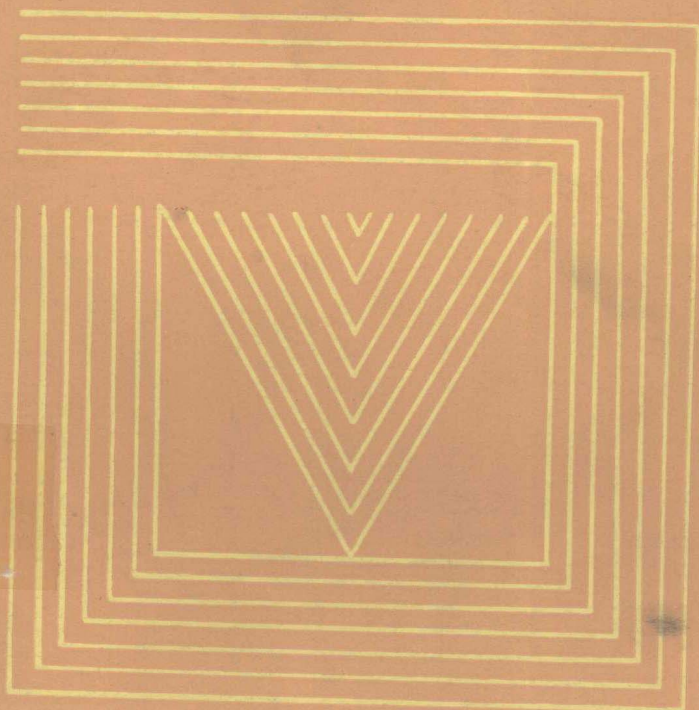


高等学校教材

传热学

(第二版)

东南大学 张正荣 编



(京) 112 号

内 容 简 介

本书是参照热工课程教学指导委员会 1986 年审订的《传热学课程教学基本要求》在第一版的基础上修订而成的。

全书共 6 章, 内容包括稳态导热、非稳态导热、对流换热、辐射换热、传热、换热器等。与第一版比较, 本版普遍增加了内容的深度, 为了培养学生分析问题的能力, 增加了讨论例题和习题。书末有附录、参考文献。全书采用我国法定计量单位。

本书经热工课程教学指导委员会传热学课程教学指导小组审订, 可作为非热工类各专业的教材, 也可供有关工程技术人员参考。

高等学校教材

传 热 学

(第 二 版)

东南大学 张正荣 编

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

四川省金堂新华印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 7.25 字数 172 000

1982年5月第1版

1989年10月第2版 1993年9月第4次印刷

印数 9 843—16 866

ISBN 7-04-002460-8/TH·213

定价 2.75 元

第二版前言

本书是在第一版的基础上,参照热工课程教学指导委员会1986年审订的高等工科院校《传热学课程教学基本要求》(50学时和55~70学时)修订而成的。与第一版相比,本版普遍增加了内容的深度,并增加了下述内容:导热问题的数值计算方法,无限大平板非稳态导热问题解析近似式的应用,高效导热元件热管的原理以及讨论例题、讨论习题。增加讨论题的目的,除了引导读者复习有关重点内容外,还为了培养读者分析问题的能力。

本版承天津大学章熙民教授主审、西安交通大学陈钟颐教授复审,他们对书稿提出了不少有益的意见。上海交通大学杨世铭教授、西安交通大学陶文铨教授关心本版的修订,并提出了极为宝贵的修订意见。此外,清华大学、华中理工大学、上海机械学院、广东工学院、镇江船舶学院等参加本版审稿会的代表们的帮助和建设性意见,对提高书稿质量也起了很大作用。对此,编者谨表示衷心的感谢。

编者水平所限,书中错误和不妥之处在所难免,欢迎读者批评指正。

编 者

1989.3.

目 录

结论	1
第一章 稳态导热	9
1-1 傅里叶定律及导热微分方程式	9
1-2 导热系数	14
1-3 通过平板的一维稳态导热	17
1-4 通过多层平板的一维稳态导热、接触热阻	22
1-5 通过无限长圆筒壁的稳态导热	27
1-6 通过等截面棒的稳态导热	32
1-7 导热问题的数值解(有限差分法)	38
习题	44
第二章 非稳态导热	50
2-1 非稳态导热过程的特点	50
2-2 第三类边界条件下物体内的温度变化——集总参数法	52
2-3 无限大平板的加热或冷却	56
2-4 有限大物体的加热和冷却	68
2-5 非稳态导热过程的数值算法	73
习题	77
第三章 对流换热	80
3-1 对流换热的基本概念 牛顿公式	80
3-2 边界层概述	84
3-3 流体受迫沿平板流动时的对流换热	88
3-4 准则和准则方程式	93
3-5 流体受迫横掠圆管时的对流换热	98
3-6 自然对流换热	104
3-7 管内流体受迫对流换热	114
3-8 沸腾和凝结时的对流换热	123
3-9 热管	132

习题	134
第四章 辐射换热	138
4-1 热辐射的基本概念	138
4-2 普朗克定律、斯蒂芬-玻尔兹曼定律和维恩定律	142
4-3 基尔霍夫定律	146
4-4 任意放置的两黑体表面间的辐射换热	150
4-5 平均角系数	153
4-6 两灰体表面间的辐射换热 网络法	156
4-7 特殊放置的两灰表面间的辐射换热	160
4-8 复杂系统的辐射换热	165
4-9 气体辐射	168
习题	174
第五章 传热	177
5-1 复合换热	177
5-2 传热	179
5-3 传热的增强	184
5-4 传热的减弱	189
习题	193
第六章 换热器	196
6-1 换热器的种类	196
6-2 换热器设计的一般说明	199
6-3 效率-传热单元数(ϵ -NTU)法 校核计算	208
习题	213
附录	211
表 1-A 金属材料的密度、比热容和导热系数	214
表 1-B 保温、耐火材料的导热系数与温度的关系	216
表 2 各种材料的黑度 ϵ	217
表 3 干空气的热物理性质($p=1.01325 \times 10^5$ Pa)	218
表 4 饱和水的热物理性质	219
表 5 干饱和水蒸气的热物理性质	220
表 6 大气压力(1.01325×10^5 Pa)下烟气的热物理性质	222
主要参考文献	222

绪 论

传热学是研究热量传递规律的科学。热力学第二定律指出,热量总是自发地由高温物体传向低温物体。因此,哪里有温度差,哪里就有热量传递。由于换热现象普遍存在,并且在人类物质生产过程中起着重要的作用,因此引起了众多的科技工作者的重视。

热能动力工程的科技人员必须掌握和运用换热规律,因为他们的工作内容之一就是妥善处理换热问题。例如,在锅炉中必需使燃料燃烧后的高温烟气尽可能快地将热量传给低温水。为此,一方面要采取措施强化传热过程,另一方面还要极力减少锅炉对外界环境的散热损失。此外,为了节约能源,锅炉中工作过的烟气的余热要尽可能地加以利用。

低温工程的科技人员必须完善地解决“跑冷”问题。因为,低温设备的环境温度相对较高,热量将由周围环境向低温设备传递,如果不采取技术措施阻止热量传递,设备将不能保持应有的低温。这类技术措施称为保温或隔热。保温技术通常是节能技术的一个重要方面。

此外,在果品、蔬菜、谷物、药材等的干燥(即脱水)过程中,科技人员的注意力主要集中在采用何种加热方式上。这不但是为了能在适宜的温度下取得符合质量要求的干燥效果,而且也是节约能源的需要。处理这类工程问题时,需要综合运用换热规律和物质交换规律。

在其它工业部门,传热学的应用也很广泛。例如,在机械制造部门内工件在冷加工或热加工过程中的温度控制,在电子部门内

电子元件或电子设备的冷却，在化工部门内化工流程中最佳温度的保证，在食品加工部门内食品在贮藏和运输过程中低温的产生和维持等，都需要应用传热学的知识。

如上所述，热量的传递取决于温度差的存在。实践经验进一步说明，在一定的换热系统中，温度差的大小决定热量传递的多少，这和电学中电位差决定单位时间内通过导体的电量多少的情况相类似。在传热学中把温度差看作是驱动热量传递的动力。不言而喻，热量传递过程中不仅有动力，而且还有阻力，这种阻力称为热阻。在一定的换热系统中，在一定时间内热阻是一定的。生产实践中的换热问题，大致说来有两种：一种是根据给定的温度差实现希望传递的热量，另一种是根据允许传递的热量实现希望的温度差。解决这类问题的关键，在于事先知道换热系统的热阻。

在分析温度差、传递的热量和热阻等问题时，除去依据有关的换热基本定律外，还需应用能量守恒原理。能量守恒原理和换热

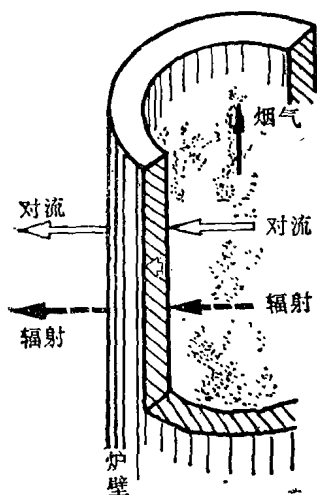


图1 取暖火炉

基本定律结合起来才能解决换热问题，这一点往往为初学者所忽视。非热工类专业的人员常常发生这类错误，他们期望仅用换热定律来解决换热问题，结果劳而无功。后面将会看到，凡是可以由解析法得来的计算换热问题的公式，都是在具体情况下应用能量守恒原理和换热基本定律的结果。实验结果给出的计算公式虽与前者不同，但也是在实验过程中能量守恒原理和换热基本定律综合作用的结果。

下面用简单的例子来说明热量的传递过程。

考察取暖用火炉内高温烟气通过炉壁向室内环境传递热量的过程(见图1)。热量先由高温烟气传递给炉壁内表面(由两个箭头表示,一个表示对流换热方式,一个表示辐射换热方式),再由炉壁内表面通过炉壁传递给炉壁外表面(一个箭头表示),最后由外表面传递给空气和周围物体。上述热量传递过程称为传热过程。

在上述过程内,热量从内壁面传递给外壁面的过程和由外壁面传递给周围空气和其它物体的过程有本质的不同。在前者的热量传递过程中,炉壁各部分之间没有相对运动,热量的这种传递过程称为导热过程。而在后者的热量传递过程中,空气对壁面有相对运动,且空气内部也有相对运动,这样的热量传递过程称为对流换热过程。此外,炉壁外表面对周围与之不接触的物体(如墙壁、桌椅、人体等)还进行辐射换热。至于炉内的热量传递,则有高温烟气和内壁面之间的对流换热和辐射换热。总之,上述传热过程由导热过程、对流换热过程和辐射换热过程这三种基本过程组成。下面分别简略地说明这些过程的特点。

一、导热过程

就一块固体而言,这种换热过程是指热量由固体的高温区域转移到低温区域的过程。不同的固体之间的导热过程只有在它们接触时才有可能发生。在气体和液体中进行单纯的导热过程时,它们的内部必须没有宏观的相对移动。

平壁中进行的导热过程最简单。可以想象,当平壁内各处温度不随时间变化时,平壁两侧面的温度差愈大,壁愈薄,壁的面积愈大,则单位时间内通过此平壁的导热热量愈多,即

$$Q \sim \frac{\Delta t}{\delta} F \quad W$$

写成等式为

$$Q = \lambda \frac{\Delta t}{\delta} F \quad W \quad (1)$$

式中: Q ——单位时间内导热传递的热量,称为热流量, W ;

Δt ——平壁两侧面的温度差, $^{\circ}C$;

δ ——平壁的厚度, m ;

F ——平壁的面积, m^2 ;

λ ——比例系数,表征材料的导热性能,称为导热系数, $W/(m \cdot ^{\circ}C)$ 。数值上,导热系数等于当两侧壁面具有单位温度差时,经由单位厚度的平壁在单位时间内通过单位面积导热所传递的热量。它说明材料导热能力的大小。导热系数的可靠值一般由实验测定。

需要说明的是,式(1)的使用条件在这里并未全部指出,这将在1-2节中全面阐述。

将式(1)改写为

$$Q = \frac{\Delta t}{\frac{\delta}{\lambda F}} \quad (1-a)$$

此式与欧姆定律的表示式

$$I = \frac{\Delta U}{R}$$

比较可知: 温度差 Δt 类似于电位差 Δu ; $\delta/(\lambda F)$ 类似于电阻 R , 称为热阻。热阻是个很重要的概念,用它分析一些换热问题显得很方便。后面将会看到,热阻还可以串联、并联等。

二、对流换热

对流换热过程是指,由于流体微团改变空间位置所引起的流体和固体壁面之间的热量传递过程。流体微团改变空间位置的过程称为对流。在不均匀温度场中,作为热载体的流体微团对流时,不可避免地要引起热对流。同时,在对流过程中流体微团也不可避免地和周围流体接触而引起导热。因此,对流换热过程是流体内部进行热对流和导热的综合过程。这种综合过程必然影响流体和壁面之间的对流换热。

牛顿于 1701 年提出了计算对流传热量的公式:

$$Q = \alpha(t_w - t_f)F \quad \text{W} \quad (2)$$

式中: Q ——对流传热量, W;

t_w, t_f ——壁面和流体的平均温度, $^{\circ}\text{C}$;

F ——换热面积, m^2 ;

α ——平均对流传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ 。数值上, 它等于流体和壁面的温度差为 1°C 时, 在单位时间内单位壁面面积和流体交换的热量。它的大小说明对流传热的强弱。

将上式改写成

$$Q = \frac{\Delta t}{\frac{1}{\alpha F}}$$

可知, 对流传热的热阻为 $1/(\alpha F)$ 。

三、辐射换热

辐射换热过程是指物体间相互进行热的辐射和吸收所形成的换热过程。习惯上, 将和温度有关的辐射称为热辐射。它的能量由物体的热能转变而来, 并且被物体吸收后又重新变成热能。波长在 $0.1 \sim 100 \mu\text{m}$ 范围内的射线(即电磁波)具有明显的这种性质, 故这一范围内的射线称为热射线。

只要物体的温度高于绝对零度, 物体将不断向外发射辐射能。单位时间内, 物体的单位面积向外发射的能量, 即辐射力为

$$E = C \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad \text{W}/\text{m}^2 \quad (3)$$

式中: T ——物体的温度, K;

C ——辐射系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ 。它和物体的性质、表面状况等因素有关, 说明物体向外辐射能量的能力。一切物体中, 以黑体的辐射系数最大, 为 $5.67 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ 。

两物体间的辐射换热热量为

$$Q = C_n \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] F_1 \quad \text{W} \quad (4)$$

式中: C_n ——当量辐射系数, 它和两物体的性质、形状、表面状况和相对位置等因素有关; T_1 、 T_2 ——两物体的温度, K; F_1 ——物体 1 的表面积, m^2 。

辐射换热与导热、对流换热不同, 导热和对流换热仅发生在冷、热介质接触时, 而辐射换热不需如此, 因为辐射能可以在真空中传播。

以上分别简略地说明了热量传递的三种基本过程。实际的热量传递过程常常是由上述基本过程组合而成的复合过程。不论是由三种基本过程, 还是由两种基本过程组合而成的复合换热过程, 我们总认为它的作用结果是基本过程单独作用结果的总和。实践已证明了这种看法的正确性。

四、传热过程

传热过程是指热流体通过将冷、热流体隔开的固体间壁将热量传给冷流体的过程。例如, 一大平板厚度为 δ , 面积为 F , 一侧有温度较高的热流体在流动, 另一侧有温度较低的冷流体在流动。流体与两侧壁面的对流换热系数分别为 α_1 和 α_2 (在复合换热的情况下, α 应是对流换热和辐射换热共同作用的结果, 详见第五章 5-1 节), 温度分别为 t_{h1} 和 t_{h2} 。在流体和平板的温度不随时间变化的情况下, 热流体将热量首先传递给左侧板面, 然后此热量由左侧板面传递给右侧板面, 最后同一热量又由右侧板面传递给冷流体, 从而实现了热量从热流体通过平板传递给冷流体的过程。这里需要强调指出, 自左至右传递的是同一数量的热量。如果不是这样, 流体或平板的温度将随时间变化。

在上述情况下, 可以写出下列三式:

由热流体传递给左侧板面的热量为

$$Q = \alpha_1 (t_{f1} - t_{w1}) F$$

由左侧板面传递给右侧板面的热量为

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{w1} - t_{w2}) F$$

由右侧板面传递给冷流体的热量为

$$Q_2 = \alpha_2 (t_{w2} - t_{f2}) F$$

以上三式中的 t_{w1} 和 t_{w2} 为未知的板面温度。由以上三式消去 t_{w1} 和 t_{w2} , 可得

$$Q = \frac{(t_{f1} - t_{f2}) F}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

令

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

则

$$Q = \frac{\Delta t}{\frac{1}{kF}}$$

式中: $\Delta t = t_{f1} - t_{f2}$, $^{\circ}\text{C}$;

k ——传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ 。

由上式可见, 传热过程的热阻为

$$\frac{1}{kF} = \frac{1}{\alpha_1 F} + \frac{\delta}{\lambda F} + \frac{1}{\alpha_2 F} \quad ^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

在上述传热过程中, 热量依次经过三个热阻, 是热阻串联的情况。这和电流依次流过串联电阻的情形相同, 所以传热的总热阻是三个分热阻之和, 即左侧板面的对流换热热阻 $1/(\alpha_1 F)$ 、平板的导热电阻 $\delta/(\lambda F)$ 及右侧板面的对流换热热阻 $1/(\alpha_2 F)$ 之和。

本书采用我国法定计量单位。我国法定计量单位的基本单位(即国际单位制的基本单位)为: 长度——米(m); 时间——秒(s); 热力学温度——开(K); 质量——千克(kg); 物质的量——摩

(mol); 电流——安(A); 发光强度——坎(cd)。

绝对温度和摄氏温度之间有下列关系:

$$\{T\}_{\text{K}} = 273.15 + \{t\}_{\text{°C}}$$

这两种温度的起算点不同,但温度的间隔相同,即

$$\{\Delta T\}_{\text{K}} = \{\Delta t\}_{\text{°C}}$$

因此,对于温差来说两种温度均可用,不需换算。在许多采用国际单位制的文献中,常可以看到温度差的单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。

习 题

1. 换热现象是否总和温度差连系在一起? 热量是否总是自高温传向低温? 电冰箱的致冷效果是否可以认为热量自低温传向高温? 上述问题的答案是否统一?

2. 结论中强调了换热基本定律和能量守恒原理结合起来应用的重要性,试就课文中阐述的传热过程说明何处应用了能量守恒原理? 能否不用?

第一章 稳态导热

绪论中简述了三种基本换热方式和传热，并给出了在一定条件下适用的计算式。本章将阐述导热基本定律和有关方程式，并就一、二维情况说明其应用。

1-1 傅里叶定律及导热微分方程式

在阐述傅里叶定律之前，先介绍一下传热学中常用的一些概念。

温度场 在所研究的换热系统中，一般地说，空间各点的温度不一定相同，而且同一个点的温度还可能随着时间的推移而改变。为了描述这种情况，现引入温度场的概念。所谓温度场，是指某一时刻换热系统中空间各点温度的分布，其表示式为

$$t=f(x, y, z, \tau) \quad (1-1)$$

式中： x, y, z ——直角坐标系坐标；

τ ——时间。

和时间无关的温度场称为稳态温度场。仅和一个坐标、二个坐标有关的温度场分别称为一维温度场和二维温度场。一维稳态温度场的数学表示式为

$$t=f(x)$$

等温面和等温线 某一时刻，温度场中具有相同温度的点所形成的线或面称为等温线或等温面。同一时刻，不同温度的等温线或等温面不能相交，否则就意味着同一个点在同一时刻可以具有不同的温度。在同一个等温面上没有温度变化，因此没有热量传递。热量传递只发生在不同的等温面之间。

温度梯度 当相邻等温面间的距离趋于零时，其法线方向上

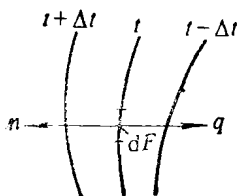


图 1-1 等温面、温度梯度和热流密度

的温度变化率称为温度梯度，用 $\frac{\partial t}{\partial n}$ 、 $\text{grad } t$ 表示。可见，温度梯度是向量，位于等温面的法线上，指向温度增加的方向。非稳态温度场中的温度梯度始终和时间联系在一起。

热流密度 单位时间内，经由面积 F 传递的热量称为热流量，用 Q 表示。单位面积的热流量 $\frac{dQ}{dF} = q$ 称为热流密度或热流通量，以 q 表示。热流密度是向量，它和温度梯度位于等温面的同一法线上，指向温度降低的方向。

图 1-1 中示出了等温面、温度梯度和热流密度间的关系。

一、傅里叶定律

导热过程发生在固体(或相互间无相对移动的流体)内存在温度差的地方。无数经验证明，在各向同性的物体中，某处的热流密度正比于该处同一时刻的温度梯度，写成等式为

$$q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} \quad (1-2)$$

式中： q ——热流密度， W/m^2 ；

$\frac{\partial t}{\partial n}$ ——温度梯度， $^{\circ}\text{C}/\text{m}$ ；

λ ——导热系数， $\text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$ 。

式(1-2)中出现负号是因为热流密度和温度梯度的方向相反。

应用傅里叶定律求解导热问题时还必须补充其它规律，因为傅里叶定律中含有的热流密度和温度梯度均未知。补充的规律应能适用于导热现象，并且仅包含热流量和温度两因素。能量守恒

原理符合此要求。

下面推导描述温度场的导热微分方程式，从中可以看出傅里叶定律和能量守恒原理的应用。

二、导热微分方程式

现在讨论在均匀且各向同性的物体中进行的导热过程。所谓各向同性，是指物体内部任意点周围各点的性质和组成不随由该点出发的方向而变化。除特别声明外，以后所讨论的导热问题均对均匀且各向同性的物体而言。

在物体内部取边长为 dx 、 dy 、 dz 的微元立方体。根据能量守恒原理可知，当物体内部无内热源时，在 $d\tau$ 时间内此微元体获得（或失去）的热量应和其增加（或减少）的焓相等，即

$$dQ = dI \quad (a)$$

增加的焓 dI 由下式确定：

$$\begin{aligned} dI &= \left[c_p \rho t + \frac{\partial}{\partial \tau} (c_p \rho t) d\tau \right] dV - c_p \rho t dV \\ &= \frac{\partial}{\partial \tau} (c_p \rho t) dV d\tau \end{aligned} \quad (b)$$

微元体获得的热量由导进和导出的热量之差决定。由于导进和导出微元体的热流密度为向量，故导出和导进的热量可写成 x 、 y 、 z 三个方向的分量之和，即进、出热量之差可写为

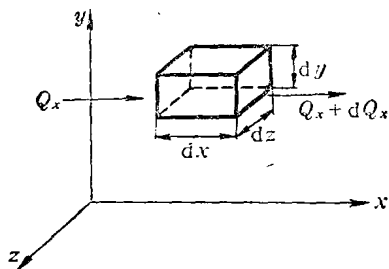


图1-2 导热微元体

$$dQ = dQ_x + dQ_y + dQ_z \quad (c)$$

根据傅里叶定律可以确定，在 x 方向导进和导出的热量之差（见图1-2）为

$$\begin{aligned}
 dQ_x &= Q_x - \left(Q_x + \frac{\partial Q_x}{\partial x} dx \right) = - \frac{\partial Q_x}{\partial x} dx \\
 &= - \frac{\partial}{\partial x} (q_x dy dz d\tau) dx \\
 &= - \frac{\partial}{\partial x} \left(- \lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) dV d\tau \\
 &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) dV d\tau
 \end{aligned}$$

同理可得

$$\begin{aligned}
 dQ_y &= \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial y} \right) dV d\tau \\
 dQ_z &= \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial z} \right) dV d\tau
 \end{aligned}$$

将以上三式代入式(o), 得

$$dQ = \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial z} \right) \right] dV d\tau \quad (d)$$

将式(b)、(d)代入式(a)得

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial \tau} (c_p \rho t) \quad (1-3)$$

对于具有内热源的情况, 如内热源单位容积在单位时间内的发热量——发热强度 $[W/m^3]$ 均匀并为 q_v , 则式(1-3)变为

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial z} \right) + q_v = \frac{\partial}{\partial \tau} (c_p \rho t)$$

如果物体的物理性质参数 c_p 、 ρ 和 λ 为常数, 则上式可写为

$$a \left[\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right] + \frac{q_v}{c_p \rho} = \frac{\partial t}{\partial \tau} \quad (1-4)$$

式中, $a = \lambda / (c_p \rho)$ —— 导温系数, 又称 热扩散系数, m^2/s 。

对于无内热源的情况, 式(1-4)可写为

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad (1-5)$$

上述方程式给出了在所研究的时间和空间范围内任意点温度随时间的变化与此点周围温度的关系。物体内的这种关系由能