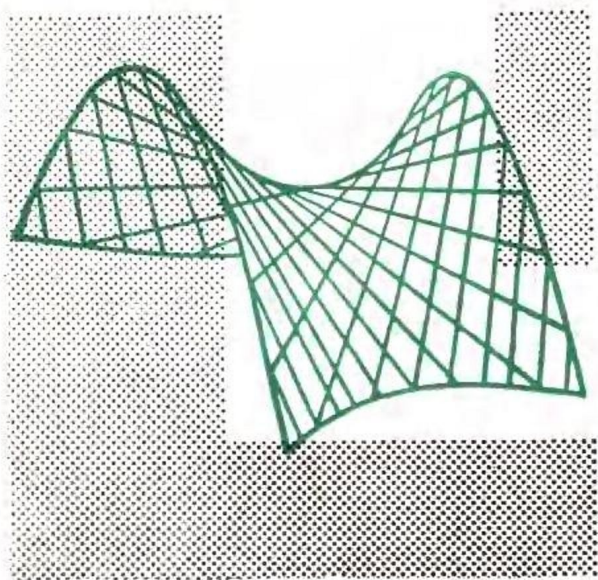


高等学校试用教材

建筑物理

柳孝图 主编

● 中国建筑工业出版社



高等学校试用教材

建 筑 物 理

柳孝图 主编

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

本书着重介绍建筑热工学、建筑光学和建筑声学的基础知识、以及热环境、光环境、声环境的设计原理与方法,其中包括若干经验公式、工程技术措施等。书中还包括了有关的实验指示纲要及若干常用建筑材料的热工、光学和声学性能的资料。

本书是高等学校建筑学专业的教学用书,也可供土建专业的设计和研究人员参考。

高等学校试用教材

建 筑 物 理

柳孝图 主编

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京市顺义县板桥印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 22¹/₈ 字数: 548 千字

1991年7月第一版 1995年11月第三次印刷

印数: 10,721—25,820 册 定价: 17.30元

ISBN 7-112-01224-4

TU·893 (6283)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

序

建筑物理主要是从生理、心理的角度，分析人们对房屋建筑内、外环境的物质和精神要求；并综合运用工程技术手段，在规划和建筑设计中，为人们创造适宜的物理环境的学科。

以学校的教学环境而论，如果对教室的设计，只考虑其长、宽、高的尺度，就将与贮藏空间没有区别。教室是供教学活动使用的空间，应能满足师生在物质和精神两方面的需要。教室的外围护结构不能只考虑防止外界自然力的作用，而应当使自然力与人们自身的热觉、视觉和听觉系统的适应能力相平衡。也就是说，学校建筑要为师生提供适宜的热环境、光环境和声环境，以有利于身心健康和提高学习、工作效率。在古代，虽然对科学道理懂得很少，但人们还是根据实际的感受和当时的物质条件，力求创造相对适宜的活动空间。随着时代发展出现的另一类房屋建筑，例如恒温、恒湿车间，录音室、演播厅等，需要为人们提供与自然力完全隔绝的热环境、光环境和声环境。因此，社会生产力的发展和科学技术的进步，一方面使许多建筑师对“建筑功能”的理解，有了新的概念，注入新的内容；另一方面也促使了与许多学科相互交叉的、以建筑热工学、建筑光学和建筑声学为基本内容的建筑物理学科的形成。自六十年代以来，有些工业发达国家的建筑科学工作者，认为“建筑环境设计取代了作为建筑科学主要问题的建筑结构”，这种见解并非没有道理。当然，建筑环境设计的内涵并不只是建筑物理环境设计。

随着时代的发展，人们对物理环境的要求日益重视。在住宅区的规划设计时，必须考虑为保证日照应有的建筑间距和建筑热工设计规程的要求。在室内欣赏音乐，除了适宜的混响时间，还要求有声音的“环绕感”。在最近的四分之一世纪里，在环境的设计和研究中，已经得到发展的一项活动是对竣工的（包括交付使用的）房屋建筑的性能进行系统的评价。从环境功能考虑的这种评价，主要包括外部环境、空间环境、热觉环境、视觉环境和听觉环境等五个方面。

此外，当今整个社会所要实现的各项目标中，存在着相互矛盾的一面。例如，一座现代化的城市，不可能没有空中交通。但是航空港的修建，必然给城市带来强烈的飞机噪声。作为现代化城市标志之一的城市中心的高层建筑群，会引起“热岛效应”。正在研究和不断开发的轻型建筑材料和预制装配的干法施工，要求有新的技术手段解决房屋建筑的隔声问题。因此，城市化和工业、科学技术的发展，使设计人员对城市布局和建筑功能的考虑与实现，对科学技术的依赖关系日益明显。当代的建筑师，如果具有坚实的基础理论和较宽的知识面，就能将建筑创作的艺术构思与反映时代要求的工程技术揉合在一起。我国高等学校建筑系，自五十年代以来设置的建筑物理课程，正是反映了对培养建筑师考虑物理环境设计和综合能力的要求。

本书在编写时着重考虑以下几点：

一、着眼于宏观的通用性 现在全国约有40余所高等学校设置建筑学专业，大多数为

4年制，少数是5年制。考虑作为面向全国高校同类专业的教材，只能着眼于宏观的通用性。因此，本课程的内容仍按原全国建筑学专业教学计划中分配的90学时（包括实验课）为依据。各篇分别为：建筑热工学32学时，建筑光学26学时，建筑声学32学时。

二、反映对专业基础课的要求 建筑物理是建筑学专业的专业基础课程之一。依我的理解，“专业”是指对物理环境的要求，本质上属于建筑设计的范畴；是对城市和建筑物功能要求与质量评价的组成部分。“基础”是指其内容属于建筑学专业所要求的基本理论的组成部分；但须运用物理学的知识和分析方法于总体布局、单体建筑设计、建筑围护结构和室内装修等的设计中。基于这样的认识，本书着重讲述建筑师必备的物理环境基本概念，基本知识，经验公式，有实用价值的规划、设计原则，以及为达到标准或规范要求可以采用的工程技术措施，而减少数学公式和物理细节。因为是专业基础课，可以采用一些不同的，但又相互补充的教学方法。例如，选择最基本的部分作系统的讲授，甚至可以考虑把分别编入三篇的、人对环境感觉的物理基础，集中在一起讲授。有些内容可以结合不同的课程设计题目，安排和组织教学（例如，建筑日照结合住宅区的规划设计，室内音质结合影剧院设计等）；还可以通过开设选修课、指导毕业设计等，组织教学。

三、注意内、外空间物理环境的联系 人们熟知的是外部环境和建筑空间环境之间的必然联系，并且一般建筑内部空间的物理环境受到外部环境的制约。建筑师在着手一项工程设计时，总是从总图布置开始，继而进入单体建筑设计。尽管对于人们所处的外部环境和建筑内部空间物理环境的设计，没有固定的程式可供遵循，但是如果能从接受任务开始，就把对物理环境的功能要求，结合到用地选择和总图布置中去，必将有助于比较合理和经济地进行建筑空间的物理环境设计。基于这样的认识，本书内容适当反映外部空间（包括建筑群布局）和建筑物内部空间物理环境的关系。

四、提供参考选用的实验指示纲要 实验是本课程的组成部分。从建筑学专业的特点考虑，依实验要求的繁简和使用仪器设备的种类，有些属示范性的实验；有些实验项目则可由学生自己动手作。各校可依不同的条件选择开出若干实验。

五、西安冶金建筑学院等四校合编的建筑物理（高等学校试用教材），在总体安排和内容选编等方面的许多特色，本书编者均注意认真地研究和借鉴。此外，书中也包括了编者的某些比较成熟的、有实用价值的研究成果。

本书由柳孝图主编。建筑热力学的编者是管荔君（东南大学副教授），建筑光学的编者是杨光骅（重庆建筑工程学院教授）和罗茂羲（重庆建筑工程学院副研究员），建筑声学的编者是柳孝图（东南大学教授）。

全国建筑学类学科专业指导委员会聘请林其标教授（华南理工大学）担任本书的主审人。林教授除负责全书的审阅外，还建议学科委聘请沈天行教授（天津大学）和谢德安副教授（重庆建筑工程学院）分别参加审阅本书建筑光学篇和建筑声学篇的书稿。对于在审阅中所提出的意见，除由主编、各篇编者认真考虑并参照修改书稿外，谨向主审人及审稿人表示衷心的感谢。

对于本书的错漏和不妥之处，恳切希望得到各方面的及时批评和指正。

柳 孝 图

1990年5月

基本符号表

建筑热工学

- A_q 热流波动振幅, W/m^2 ;
- A_s 太阳方位角, deg;
- A_o 围护结构表面温度波动振幅, $^{\circ}C$;
- A_t 空气温度波动振幅, $^{\circ}C$;
- A_w 墙方位角, deg;
- B 地面的吸热指数, $W/(m^2 \cdot h^{-1/2} \cdot K)$;
- B_i 围护结构内表面的吸热系数, $W/(m^2 \cdot K)$;
- C 物体表面的辐射系数, $W/(m^2 \cdot K^4)$;
- C_{12} 相当辐射系数, $W/(m^2 \cdot K^4)$;
- C 比热, $KJ/(kg \cdot K)$;
- D 热惰性指标, 无因次量;
- d 材料层厚度, m;
- E 全辐射本领, W/m^2 ;
- E_b 黑体辐射本领, W/m^2 ;
- E_{λ} 单色辐射本领, $W/(m^2 \cdot \mu m)$;
- $E_{b,\lambda}$ 黑体的单色辐射本领, $W/(m^2 \cdot \mu m)$;
- F 围护结构的表面积, m^2 ;
- F_i 围护结构的内表面积, m^2 ;
- f 空气绝对湿度, g/m^3 ;
- H 蒸汽渗透阻, $m^2 \cdot h \cdot Pa/g$;
- H_o 总蒸汽渗透阻, $m^2 \cdot h \cdot Pa/g$;
- h_s 太阳高度角, deg;
- I 太阳辐射强度, W/m^2 ;
- K_o 总传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$;
- L_m 当地时间子午线的经度, deg;
- L_o 标准时间子午线的经度, deg;
- m 人体新陈代谢率, W/m^2 或met;
采暖设备的不均匀供热系数, 无因次量;
- P 空气的水蒸汽分压力, Pa;
- P_o 室外空气的水蒸汽分压力, Pa;
- P_i 室内空气的水蒸汽分压力, Pa;
- P_s 饱和水蒸汽分压力, Pa;

$P_{s,c}$ 冷凝界面处的饱和水蒸汽分压力, Pa;
 Q 传热量, W;
 q 热流强度, W/m^2 ;
 q_c 对流换热强度, W/m^2 ;
 q_r 辐射换热强度, W/m^2 ;
 $q_{s,w}$ 人体汗液蒸发散热量, W/m^2 ;
 q_w 人体蒸发散热量, W/m^2 ;
 Δq 人体得失的热量, W/m^2 ;
 R 传热阻, $m^2 \cdot K/W$;
 R_{cl} 衣服热阻, clo;
 R_i 内表面热转移阻, $m^2 \cdot K/W$;
 R_e 外表面热转移阻, $m^2 \cdot K/W$;
 R_o 总热阻, $m^2 \cdot K/W$;
 $R_{o,min}$ 最小总热阻, $m^2 \cdot K/W$;
 ρ_h 对辐射热的反射系数, 无因次量;
 S 材料的蓄热系数, $W/(m^2 \cdot K)$;
 T 绝对温度, K;
 T_m 地方平均太阳时, h;
 T_o 标准时间, h;
 t_d 露点温度, $^{\circ}C$;
 t_e 室外气温, $^{\circ}C$;
 t_i 室内气温, $^{\circ}C$;
 $t_{s,e}$ 室外综合温度, $^{\circ}C$;
 $\bar{t}_{s,k}$ 人体皮肤表面平均温度, $^{\circ}C$;
 t_w 湿球温度, $^{\circ}C$;
 V 空气流速, m/s;
 w 蒸汽渗透强度, $g/(m^2 \cdot h)$
 Y 材料层表面蓄热系数, $W/(m^2 \cdot K)$;
 Y_e 外表面蓄热系数, $W/(m^2 \cdot K)$;
 Y_i 内表面蓄热系数, $W/(m^2 \cdot K)$;
 Z 周期性波动热作用的周期, h;
 Z_h 采暖期的延续时间, day;
 α_c 对流换热系数, $W/(m^2 \cdot K)$;
 α_i 内表面热转移系数, $W/(m^2 \cdot K)$;
 α_r 辐射换热系数, $W/(m^2 \cdot K)$;
 γ 容重, kg/m^3 ;
 δ 太阳赤纬角, deg;
 ε 黑度, 无因次量;
 θ 表面温度, $^{\circ}C$;

- λ 材料导热系数, $W/(m \cdot K)$;
- 辐射线的波长, μm ;
- μ 蒸汽渗透系数, $(g/m \cdot h \cdot Pa)$;
- ν 衰减度, 无因次量;
- ν_0 由室外空气到围护结构内表面的总衰减度, 无因次量;
- ν_i 室内温度谐波传到内表面时的衰减度, 无因次量;
- ξ 延迟时间, h ;
- ξ_0 总延迟时间, h ;
- ρ_λ 对辐射热的吸收系数, 无因次量;
- ρ_s 对太阳辐射热的吸收系数, 无因次量;
- τ 时间, h ;
- τ_λ 对辐射热的透射系数, 无因次量;
- ϕ 相位角, deg ;
- ϕ_s 外围护结构的热稳定性系数, 无因次量;
- φ 空气相对湿度, %;
- 地理纬度, deg ;
- Ω 时角, deg ;
- ω 角速度, deg/h 。

建 筑 光 学

- A 面积, m^2 ;
- A_w 窗洞面积, m^2 ;
- A_c 天棚面积, m^2 ;
- A_f 地板面积, m^2 ;
- A_{w1} 墙面积, m^2 ;
- C 采光系数, %, 亮度对比系数;
- \bar{C} 采光系数平均值, %;
- C_{\min} 采光系数最低值, %;
- C_d 天窗窗洞的采光系数, %;
- C_s 侧窗窗洞的采光系数, %;
- C_u 灯具利用系数;
- D 识别物件尺寸、直径、距离, mm 、 m ;
- d 识别物件细节尺寸, mm ;
- E 照度, lx ;
- \bar{E} 照度平均值, lx ;
- E_{AV} 道路路面平均照度, lx ;
- E_{\min} 照度最低值, lx ;
- E_i 室内照度, lx ;
- E_0 室外照度, lx ;

ϕ 光通量、光通, lm;
 I 发光强度, cd;
 K 照度补偿系数;
 K_0 晴天系数;
 K 光气候系数; 维护系数;
 K_c 窗宽修正系数;
 K_g 高跨比系数;
 K_p 天窗采光的室内反射光增量系数;
 K'_p 侧窗采光的室内反射光增量系数;
 K_τ 窗总透光系数;
 K_w 侧窗采光的室外遮挡物挡光折减系数;
 L 亮度, cd/m²;
 L_{AV} 道路路面平均亮度, cd/m²;
 L_b 背景亮度, cd/m²;
 L_θ 离地面 θ 角处的天空亮度, cd/m²;
 W_{eff} 道路有效宽度;
 RCR 室空间比;
 RCC 天棚空间比;
 $V(\lambda)$ 波长为 λ 的光谱光效率;
 ϕ_λ 波长为 λ 的辐射通量, W;
 α 吸收系数, %; 视角, 分;
 τ 透光系数, %;
 ρ 反光系数, %;
 η 灯具效率, %;
 λ 波长, nm;
 Ω 立体角, sr。

建筑声学

c 声速, m/s;
 f 声音的频率, Hz;
 I 声强, W/m²;
 I_a 空气声的隔声指数, dB;
 I_i 撞击声的隔声指数, dB;
 L_{DN} 昼夜等效声级, dB;
 L_{eq} 等效声级, dB;
 L_I 声强级, dB;
 L_p 声压级, dB;
 L_w 声功率级, dB;
 p 有效声压, N/m²;

P 穿孔板的穿孔率, %
 $Phon$ 响度级(方);
 Q 声源的指向性因数, 无因次量
 R 隔声量, dB; 房间常数, m^2 ;
 T_{60} 混响时间, s;
 W 声源的声功率, W;
 α 吸声系数, %;
 λ 波长, m;
 ρ_0 空气密度, kg/m^3 ;
 τ 透射系数, %。

目 录

第一篇 建筑热工学

第一章 建筑热工学基本知识	2
第一节 传热的基本方式	2
第二节 通过平壁的稳定导热	3
第三节 对流换热	7
第四节 辐射换热	8
第五节 平壁的稳定传热	13
第六节 封闭空气间层的传热	16
第七节 周期性不稳定传热	18
第八节 湿空气的概念及蒸汽渗透的计算	27
第二章 室外气候与室内气候	32
第一节 室外气候	32
第二节 中国建筑热工设计气候分区	39
第三节 室内气候	41
第三章 建筑日照	47
第一节 概述	47
第二节 地球运行的基本知识	47
第三节 太阳高度角和方位角的确定	52
第四节 棒影日照图	53
第四章 建筑保温	60
第一节 外围护结构的保温设计	60
第二节 室内供热不均匀时外围护结构与房间的热稳定性	71
第三节 外围护结构的蒸汽渗透和冷凝	76
第五章 建筑防热	83
第一节 建筑防热的途径	83
第二节 房间的自然通风	84
第三节 外围护结构的隔热	91
第四节 窗口遮阳	103

第二篇 建筑光学

第六章 建筑光学基本知识	110
第一节 人眼视觉特点	110
第二节 基本光度单位及应用	111

第三节 材料的光学性质	117
第四节 视度及其影响因素	122
第七章 天然采光	125
第一节 光气候和采光标准	125
第二节 采光口	132
第三节 采光设计	144
第四节 采光计算	156
第八章 建筑照明	165
第一节 人工光源	165
第二节 灯具	173
第三节 室内工作照明	178
第四节 环境照明设计	199

第三篇 建筑声学

第九章 声音的性质	220
第一节 声音、声源、空气中的声波	220
第二节 波阵面、方向性、频率、波长和声速	221
第三节 声功率、声强、声压和分贝	222
第四节 音乐、噪声、频谱	225
第五节 声音的反射、折射、衍射、扩散吸收和透射	226
第六节 驻波和房间共振、混响和室内稳态声级、混响时间	231
第十章 人对声音的感受	235
第一节 人耳的听觉、响度和频率、声级计和A声级	235
第二节 掩蔽、背景噪声和干扰噪声	238
第三节 噪声对人的影响	238
第十一章 吸声材料	242
第一节 多孔材料	242
第二节 薄膜、薄板吸声结构	244
第三节 穿孔板吸声结构	246
第四节 其它吸声构造	248
第五节 吸声测量和材料的选择	250
第十二章 隔声材料	252

第一节	声音在建筑围护结构中的传播	252	第五节	室内音质设计各论	308
第二节	单层匀质密实墙	254	第六节	混响时间的设计计算	311
第三节	双层匀质密实墙	255	实验指示纲要		315
第四节	多层墙和轻质墙	256	第一部分	建筑热工学实验	315
第五节	门窗的隔声	258	第二部分	建筑光学实验	321
第六节	楼板隔声	259	第三部分	建筑声学实验	326
第七节	隔声性能表示和测量	260	附录		333
第十三章	噪声控制	263	附录 I	建筑材料的热工指标	333
第一节	噪声评价量及评价方法	263	附录 II	标准大气压时不同温度下的饱和水蒸汽分压力 P_s 值 (Pa)	335
第二节	环境噪声标准和立法	264	附录 III	棒影日照图	336
第三节	环境噪声的控制	266	附录 IV	灯具光度数据示例	338
第四节	室内的吸声减噪	278	附录 V	灯具利用系数	340
第五节	建筑隔声	280	附录 VI	$\bar{\alpha}$ 与 $-\ln(1-\bar{\alpha})$ 换算表	346
第六节	建筑隔振	285	附录 VII	常用建筑材料等的吸声系数和吸声单位	346
第十四章	室内音质设计	288	附录 VIII	常用建筑材料的隔声指标	347
第一节	围蔽空间里的声音	288	主要参考文献		349
第二节	供语言通讯用的厅堂音质	289			
第三节	供音乐欣赏用的厅堂音质	301			
第四节	多功能大厅的音质	307			

第一篇 建筑热工学

建筑物常年经受室内外各种气候因素的作用，这些气候因素不仅直接影响室内热环境，也在一定程度上影响建筑物的耐久性。

建筑热力学的任务是介绍建筑热工原理，论述如何通过规划和建筑设计上的手段，有效地防护或利用室内外气候因素，合理地解决房屋的日照、保温、防热、防潮等问题，以创造良好的室内气候环境并提高围护结构的耐久性。当然，在大多数情况下，单靠建筑措施是不能完全满足对室内气候的要求的，往往需要配备适当的空调设备，才能创造理想的室内气候。但应指出，只有首先充分发挥各种建筑措施的作用，再配备一些必不可少的设备，才能作出技术上和经济上都合理的设计。

随着时代的发展，人们对环境的要求日益提高，房屋中将广泛采用各种先进的采暖和空调设备；随着建筑工业化程度的提高，将日益广泛采用各种预制装配或现场浇注的新型围护结构。在这种情况下，建筑热力学的知识，对提高设计水平，保证工程质量，延长使用寿命，节约能源消耗，降低采暖和空调费用，取得全面的技术经济效果，意义尤为明显。本篇只着重论述一般的民用与工业建筑的热工设计。

第一章 建筑热工学基本知识

第一节 传热的基本方式

凡是有温度差的地方，就会有热量转移现象发生，热量总是自发地由高温物体传向低温物体。

热量的传递有三种基本方式：导热、对流和辐射换热（见图1-1）。

导热 指温度不同的物体直接接触时，靠物质微观粒子（分子、原子、自由电子等）的热运动而引起的热能转移现象。它可以在固体、液体和气体中发生，但只有在密实的固体中才存在单纯的导热过程。

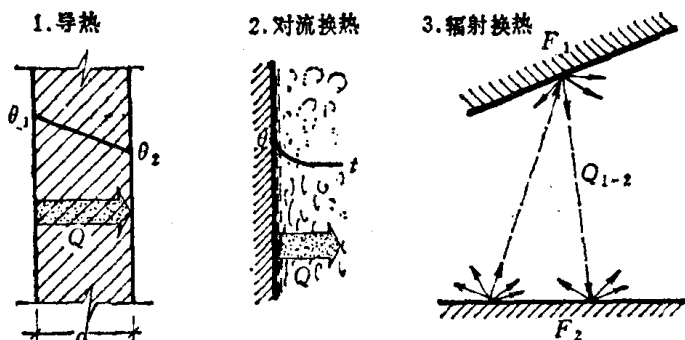


图 1-1 传热的三种基本形式

对流 指依靠流体的宏观相对位移，把热量由一处传递到另一处的现象。这是流体所特有的一种传热方式。工程上大量遇到的是流体流过一个固体壁面时发生的热量交换过程，叫做对流换热。单纯的对流换热过程是不存在的，在对流的同时总伴随着导热。

辐射 指依靠物体表面向外发射热射线（能产生显著热效应的电磁波）来传递能量的现象。自然界中所有的物体只要温度高于绝对零度，其表面都在不停地向四周发射辐射热，同时又不断地吸收其它物体投射来的辐射热。这种辐射与吸收过程的综合结果就造成了以辐射形式进行的物体间的能量转移——辐射换热。辐射换热时不仅存在着能量的转移，还伴随着能量形式的转化（热能→辐射能→热能），而且参与换热的两物体不需直接接触，这是它有别于导热及对流换热的地方。

实际的传热过程，往往同时存在着两种或三种上述基本的传热形式。例如，冬季由室内通过外墙传至室外的热量。就是先由室内空气以对流换热和物体表面间辐射换热的形式传给墙的内表面，然后由墙的内表面通过墙体本身以导热的形式传至墙的外表面，墙的外表面再以对流及辐射换热的形式传给室外环境。这整个过程就是由导热、对流及辐射换热组合而成的复杂过程。我们之所以把它划分为三种基本形式，是为了研究方便，因为它们各有其特殊的规律。

由于热量传递的动力是温度差，所以在研究传热时必须知道物体的温度分布。就某一物体或某一空间来说，在一般情况下，其各点温度不仅因位置不同而不同，即使对某一固定点来说，也往往是随时间而变化的，这就是说温度是空间和时间的函数。在某一瞬间，物体内部所有各点温度的总计叫温度场。若物体的温度是空间三个座标的函数，这样的温

度场叫三向温度场；当物体温度只沿一个方向或二个方向而变化时，相应地称作一向或二向温度场。就物体的温度与时间的依变关系而言，凡物体中各点的温度随时间而变的温度场叫不稳定温度场；反之，则为稳定的温度场。

在稳定的温度场内发生的热量传递过程称为稳定传热过程；在不稳定的温度场内发生的热量传递过程，则为不稳定传热过程。

以建筑外围护结构为例，研究所有这些热交换过程的规律是本章的主要任务之一。

第二节 通过平壁的稳定导热

如前所述，只有在密实的固体中才存在着单纯的导热现象，而一般的建筑材料内部或多或少地总有一些孔隙，在孔隙内除存在导热现象外，同时还有对流及辐射换热现象，但因对流及辐射换热所占比例很小，故在建筑热工计算中，对通过围护结构实体材料层的传热过程，均折合为导热过程来考虑。

一、经过单层平壁的导热

假定有一厚度为 d 的单层匀质平壁，其宽与高的尺寸比厚度大得多，平壁内、外表面的温度分别为 θ_i 及 θ_e ，均不随时间而变化，而且假定 $\theta_i > \theta_e$ 。（见图 1-2）。

显然，这是一个一向度的稳定导热问题。实践证明，此时通过壁体的热流量与壁面之间的温度差、传热面积和传热时间成正比，与壁体的厚度成反比，即

$$Q = \frac{\lambda}{d} (\theta_i - \theta_e) F \tau \quad (1-1)$$

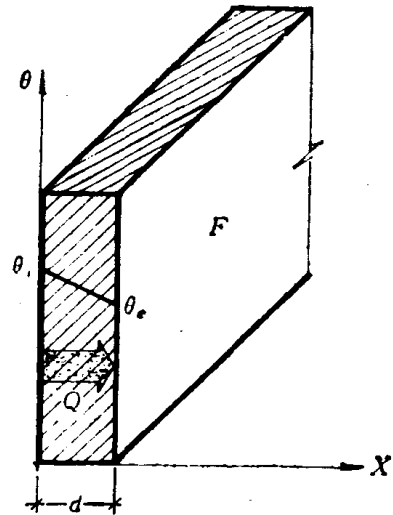


图 1-2 单层平壁的导热

式中 Q ——总的导热热量，单位是千焦耳（kJ）或瓦时（W·h）。它是一个向量，从高温向低温方向为正，反之为负；

λ ——决定材料性质的比例系数，称导热系数，瓦/米·开尔文（W/(m·K)）；

θ_i ——平壁内表面的温度，°C；

θ_e ——平壁外表面的温度，°C；

d ——平壁的厚度，m；

F ——垂直于热流方向的平壁的面积，m²；

τ ——导热进行的时间，h。

在今后讨论问题中更常用的是单位时间内通过单位面积的热流量，称为热流强度，用“ q ”表示，单位是瓦/米²（W/m²），即

$$q = \frac{\lambda}{d} (\theta_i - \theta_e) \quad (1-2)$$

式（1-2）也可改写成

$$q = \frac{\theta_i - \theta_e}{\frac{d}{\lambda}} = \frac{\theta_i - \theta_e}{R} \quad (1-3)$$

式中 $R = \frac{d}{\lambda}$ ，称为热阻，它的单位是米²·开尔文/瓦 (m²·K/W)。热阻是热流通过平壁时遇到的阻力，或者说是平壁抵抗热流通过的能力。在同样的温差条件下，热阻越大，通过材料层的热量越少。要想增加热阻，可以加大平壁的厚度，或选用导热系数λ值小的材料。

材料的导热系数λ，是说明在稳定导热条件下，材料导热特性的一个指标。它在数值上等于：当材料层单位厚度内的温差为1°C时，在1小时内通过1平方米面积的热量。不同状态的物质导热系数相差很大。气体的导热系数最小，其数值约在0.006~0.6W/(m·K)之间，如空气在常温、常压下的导热系数为0.029W/(m·K)，静止不流动的空气具有很好的保温能力；液体的导热系数次之，约为0.07~0.7W/(m·K)，如水在常温下，其导热系数为0.58W/(m·K)，约为空气的20倍；金属的导热系数最大，约为2.2~420W/(m·K)；非金属材料，如绝大多数建筑材料的导热系数介于0.3~3.5W/(m·K)之间。工程上常把λ值小于0.3W/(m·K)的材料作为保温隔热材料，如矿棉、泡沫塑料、珍珠岩、蛭石等。常用建筑材料的λ值可参见附录I。

应当指出：不同材料的导热系数相差很大，即使相同的材料，导热系数也可能不相同。对导热系数影响最大的因素是容重和湿度。一般来说，容重越大，导热系数也越大，但对某些容重较小的材料来说，当容重降低到一定程度后，如继续降低容重，导热系数不仅不再降低，反而会增大。这种材料存在着一个最佳容重的界限，即在该容重下，材料具有最小的λ值。图1-3示玻璃棉的导热系数与容重的关系，即是一例。材料的湿度增大，导热系数将显著增大。从表示砖砌体导热系数与重量湿度 W_w 关系的图1-4可见，当砖砌体的重量湿度由0增至4%时，导热系数由0.5增至1.04，增加了一倍以上。因此，湿度对导热系数的影响在建筑热工设计中必须引起充分注意。

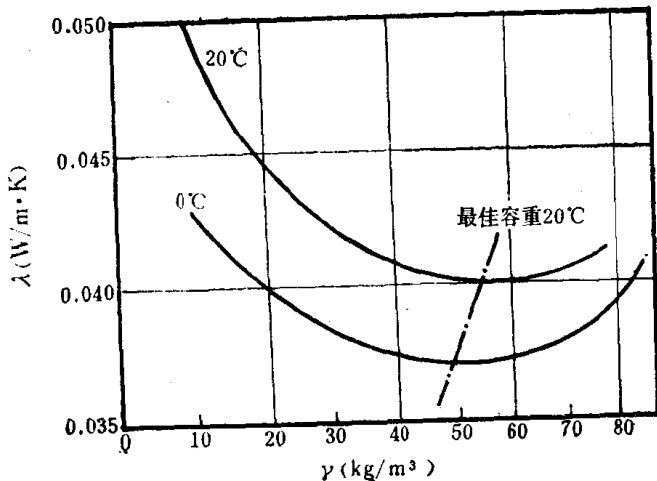


图 1-3 玻璃棉导热系数与容重的关系

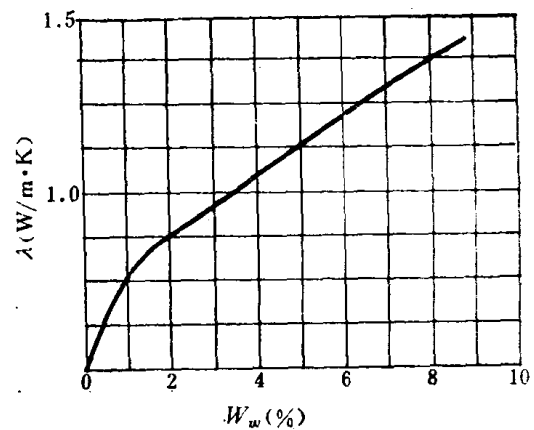


图 1-4 砖砌体导热系数与重量湿度的关系

① 重量湿度 W_w 是指材料中所含水分重量与绝对干燥状态下材料重量的百分比。

二、经过多层平壁的导热

凡是由几层不同材料组成的平壁都叫多层壁，例如双面粉刷的砖砌体。

设有三层材料组成的多层壁，各材料层之间紧密贴合，壁面很大，每层厚度各为 d_1 、 d_2 及 d_3 ，导热系数依次为 λ_1 、 λ_2 及 λ_3 ，且均为常数。壁的内、外表面温度为 θ_i 及 θ_e （假定 $\theta_i > \theta_e$ ），均不随时间而变。由于层与层之间密合得很好，我们可用 θ_2 及 θ_3 来表示层间接触面的温度（见图1-5）。

把整个平壁看作由三个单层壁组成，应用式（1-2）分别算出通过每一层的热流强度 q_1 、 q_2 及 q_3 ，即

$$q_1 = \frac{\lambda_1}{d_1} (\theta_i - \theta_2) \quad (1)$$

$$q_2 = \frac{\lambda_2}{d_2} (\theta_2 - \theta_3) \quad (2)$$

$$q_3 = \frac{\lambda_3}{d_3} (\theta_3 - \theta_e) \quad (3)$$

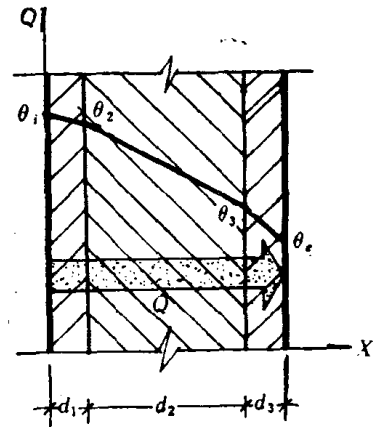


图 1-5 多层壁导热

在稳定导热条件下，通过整个平壁的热流强度 Q 与通过各层平壁的热流强度应相等，即

$$q = q_1 = q_2 = q_3 \quad (4)$$

联立（1）、（2）、（3）及（4）式，可解得：

$$q = \frac{\theta_i - \theta_e}{\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3}} = \frac{\theta_i - \theta_e}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (1-4)$$

式中 R_1 、 R_2 及 R_3 分别为第一、二、三层的热阻。

对 n 层多层壁的导热计算公式可依此类推：

$$q = \frac{\theta_1 - \theta_{n+1}}{\sum_{j=1}^n R_j} \quad (1-5)$$

式（1-5）中，分母的每一项 R_j 代表第 j 层的热阻， θ_{n+1} 为第 n 层外表面的温度。从这个方程式可以得出结论：多层壁的总热阻等于各层热阻的总和。

工程上有时需知各层接触面的温度 θ_2 、 θ_3 、 θ_4 …… θ_j …… θ_n 。根据式（1）及（2）可得：

$$\theta_2 = \theta_1 - q \frac{d_1}{\lambda_1}$$

$$\theta_3 = \theta_2 - q \frac{d_2}{\lambda_2} = \theta_1 - q \left(\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} \right)$$

依此类推，可得出几层多层壁内第 j 层与 $j+1$ 层之间接触面的温度 θ_{j+1} ，即：

$$\theta_{j+1} = \theta_1 - q \left(\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_j}{\lambda_j} \right) \quad (1-6)$$

由上列算式可以看出，每一层平壁内的温度分布是直线，但整个多层壁由于各层的导热系数不同，温度分布呈折线状。

三、通过组合壁的导热

前面所讨论的单层壁、多层壁中的每一层都是由单一材料组成的。在建筑工程中，围