

www.hustpas.com

普通高等院校建筑专业“十一五”规划精品教材

Architectural Professional Textbooks for the 11th Five-Year Plan

建筑物理

Architectural Physics

主编 张三明

主审 秦佑国

普通高等院校建筑专业“十一五”规划精品教材

建筑物理

Architectural Physics

丛书审定委员会

何镜堂 仲德崑 张 颀 李保峰
赵万民 李书才 韩冬青 张军民
魏春雨 徐 雷 宋 昆

本书主编 张三明

本书主审 秦佑国

本书编写委员会

张三明 张红虎 卢玟珺 王美燕
毛万红 张 雯 扈 军 葛 坚



华中科技大学出版社

中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

建筑物理/张三明 主编.

—武汉:华中科技大学出版社,2009.8

ISBN 978-7-5609-5401-1

I. 建… II. 张… III. 建筑物理学—高等学校—教材
IV. TU11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 084031 号

建筑物理

张三明 主编

责任编辑:翟永梅

封面设计:张 璐

责任校对:陈嘉萍

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉) 武昌喻家山 邮编:430074

销售电话:(022)60266190 (022)60266199(兼传真)

网 址:www.hustpas.com

录 排:河北香泉技术开发有限公司

印 刷:河北昌黎第一印刷厂

开本:850 mm×1065 mm 1/16

印张:29.25 插页:4

字数:623 千字

版次:2009 年 8 月第 1 版

印次:2009 年 8 月第 1 次印刷

定价:56.00 元

ISBN 978-7-5609-5401-1/TU·612

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

本书介绍了建筑热工学、建筑光学、建筑声学等相关学科的基本概念、基本原理、评价指标、标准规范、设计方法、技术措施、材料构造等知识。本书内容深入浅出,图文并茂,并结合当前建筑业发展需要,增加建筑节能、隔声评价方法等实用的新内容。

本书可作为建筑学、环境艺术、室内设计、城市规划等专业的本科教材以及相关专业研究生参考用书。也可作为建筑设计、室内设计行业技术人员、管理人员的专业参考书。

总 序

《管子》一书《权修》篇中有这样一段话：“一年之计，莫如树谷；十年之计，莫如树木；百年之计，莫如树人。一树一获者，谷也；一树十获者，木也；一树百获者，人也。”这是管仲为富国强兵而重视培养人才的名言。

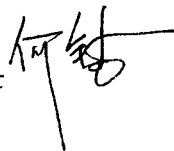
“十年树木，百年树人”即源于此。它的意思是说，培养人才是国家的百年大计，既十分重要，又不是短期内可以奏效的事。“百年树人”并不是非得 100 年才能培养出人才，而是比喻培养人才的远大意义，要重视这方面的工作，并且要预先规划，长期、不间断地进行。

当前我国建筑业发展形势迅猛，急缺大量的建筑建工类应用型人才。全国各地建筑类学校以及设有建筑规划专业的学校众多，但能够做到既符合当前改革形势又适用于目前教学形式的优秀教材却很少。针对这种现状，急需推出一系列切合当前教育改革需要的高质量优秀专业教材，以推动应用型本科教育办学体制和运作机制的改革，提高教育的整体水平，并且有助于加快改进应用型本科办学模式、课程体系和教学方法，形成具有多元化特色的教育体系。

这套系列教材整体导向正确，科学精练，编排合理，指导性、学术性、实用性和可读性强。符合学校、学科的课程设置要求。以建筑学科专业指导委员会的专业培养目标为依据，注重教材的科学性、实用性、普适性，尽量满足同类专业院校的需求。教材内容大力补充新知识、新技能、新工艺、新成果。注意理论教学与实践教学的搭配比例，结合目前教学课时减少的趋势适当调整了篇幅。根据教学大纲、学时、教学内容的要求，突出重点、难点，体现建设“立体化”精品教材的宗旨。

以发展社会主义教育事业，振兴建筑类高等院校教育教学改革，促进建筑类高校教育教学质量的提高为己任，为发展我国高等建筑教育的理论、思想，对办学方针、体制，教育教学内容改革等进行了广泛深入的探讨，以提出新的理论、观点和主张。希望这套教材能够真实的体现我们的初衷，真正能够成为精品教材，受到大家的认可。

中国工程院院士



2007 年 5 月

前 言

建筑物理主要研究与建筑相关的声学、光学和热工学等内容。声、光、热等构成建筑的物理环境,建筑环境的物理性能又与舒适、卫生等要求密切相关,是建筑的重要方面之一。近30年来,建筑业得到了蓬勃发展,人们对建筑的要求大致经历了三个阶段:第一阶段,解决有无问题,主要关心建筑使用功能;第二阶段,追求环境美化,重视对建筑装修、立面形象、外部环境等方面的处理;第三阶段,即目前开始的阶段,人们开始对建筑物舒适、健康、卫生、环保、节能等性能提出更高要求。要满足这些性能要求,离不开建筑物理。建筑设计人员只有充分掌握建筑物理基本原理和设计方法,才能满足不断提高的建筑设计要求。

本书可作为建筑学、环境艺术、室内设计、城市规划等专业的高校教材,考虑到这些专业的学生的形象思维能力较强,在教材的编写过程中增加了大量图表,并在本书正文前增加彩页。在内容组织上重点介绍基本概念和原理、材料物理性质、建筑物理设计方法,对数学推导本书不作重点介绍。本书作者基本上都是以建筑学背景从事建筑物理教学、科研和设计的高校教师,对专业有较深的认识,对建筑物理环境控制相关设计有较丰富的经验,对专业教学也都有较深的体会。

节能降耗将是我国今后长期的任务,建筑节能是建筑相关人员必须面对的问题。建筑热工、建筑光学与建筑节能密切相关,是建筑节能的基础知识。合理的建筑规划及设计、良好的保温隔热、天然光的充分利用、高效电光源的采用是建筑节能的主要内容。为加强建筑节能,本书设置了建筑节能章节,主要介绍建筑节能设计方法和我国现行建筑节能设计标准。

编者在建筑物理教学中发现有些概念学生不易正确理解,如“吻合效应”、“驻波”等,本书尽可能把这些概念表达清楚,使学生课后阅读或复习时易于理解。结合建筑物理的发展,本书增加了大量新的内容,与国家规范、标准相关的内容均是最新的。例如,书中的建筑隔声单值评价量作图求解方法就是本书作者建议的一个新的作图法,特别适合设计专业学生使用。考虑到建筑物理是实践性很强的学科,书中提供了大量设计实例,供学生参考。附录提供了当前常用建筑材料的物理性质指标。

本书由浙江大学建筑系张三明主编并统稿。清华大学建筑学院秦佑国教授为本书主审,张红虎为本书通讯作者。各章具体写作分工如下。浙江大学建筑系张三明:前言、第3篇第1章的1.1和1.2节、第3篇第2章、第3章的3.1~3.5节、第4章、第5章;浙江大学建筑系张红虎:第2篇第3章、第3篇第3章的3.5~3.8节、实验指导书;华北水利水电学院卢玫珺:第1篇第1、2、4章;浙江林学院王美燕:第1篇第3、5章;浙江理工大学毛万红:第2篇第1章;中国美术学院张雯:第2篇第2章;浙

江大学城市学院扈军;第3篇第1章的1.3~1.7节;浙江大学建筑工程学院葛坚为本书提供了大量建议。浙江大学硕士研究生何海霞、陈湛、毛伟帮助完成大量插图绘制工作,并协助完成部分章节编排工作,在此表示感谢。

由于作者水平有限,书中不妥之处请读者批评指正。

编者

2009年6月

目 录

第 1 篇 建筑热环境

1 建筑热环境基础知识	(3)
1.1 建筑中的传热方式	(3)
1.2 平壁的稳定传热	(14)
1.3 建筑围护结构的周期性不稳定传热	(23)
1.4 湿空气的物理性质	(31)
1.5 室内热环境	(33)
1.6 室外热环境	(35)
【本章习题】	(43)
2 建筑保温设计	(44)
2.1 建筑保温设计的综合处理原则	(44)
2.2 围护结构的保温设计	(49)
2.3 围护结构特殊部位的保温设计	(59)
2.4 围护结构的蒸汽渗透及冷凝	(68)
【本章习题】	(78)
3 建筑防热	(79)
3.1 夏季防热途径	(79)
3.2 围护结构隔热设计	(82)
3.3 房间自然通风	(98)
3.4 建筑遮阳	(107)
【本章习题】	(116)
4 建筑日照	(118)
4.1 日照基本原理	(118)
4.2 建筑日照间距的计算	(123)
4.3 建筑遮阳构件尺寸计算	(127)
4.4 棒影日照图的原理与应用	(130)
【本章习题】	(135)
5 建筑节能	(136)
5.1 建筑节能概述	(136)
5.2 建筑节能设计标准	(137)

5.3 建筑节能设计方法	(146)
5.4 可再生能源利用	(153)
【本章习题】	(159)

第2篇 建筑光学

1 光学基础知识	(163)
1.1 光的基本概念	(163)
1.2 基本光度单位与应用	(171)
1.3 材料的光学性质	(178)
1.4 视度及其影响因素	(184)
【本章习题】	(187)
2 天然采光	(188)
2.1 光气候和采光标准	(188)
2.2 采光口	(194)
2.3 采光设计	(209)
2.4 采光计算	(223)
【本章习题】	(230)
3 建筑照明	(231)
3.1 电光源	(231)
3.2 灯具	(238)
3.3 室内照明设计的一般原则与方法	(242)
3.4 室内照明设计的常用手法	(255)
3.5 室内照明设计举例	(265)
3.6 室外环境照明概述	(273)
3.7 绿色照明工程	(277)
【本章习题】	(278)

第3篇 建筑声学

1 建筑声学基础知识	(281)
1.1 声音的基本性质	(281)
1.2 声音的计量	(286)
1.3 人耳的听觉特性与声音评价	(290)
1.4 声音在室内的传播与几何声学	(293)
1.5 混响时间	(295)
1.6 驻波与房间共振	(297)
1.7 音质评价	(298)

【本章习题】	(301)
2 吸声材料和吸声结构	(302)
2.1 概述	(302)
2.2 多孔吸声材料	(304)
2.3 穿孔板吸声结构	(308)
2.4 薄膜与薄板吸声结构	(312)
2.5 其他吸声结构	(314)
【本章习题】	(319)
3 建筑构件隔声	(320)
3.1 概述	(320)
3.2 单层匀质密实墙隔声	(321)
3.3 双层墙隔声	(324)
3.4 轻质墙隔声	(326)
3.5 门窗隔声	(328)
3.6 组合墙的隔声量	(329)
3.7 楼板撞击声隔声	(330)
3.8 隔声评价与隔声标准	(330)
【本章习题】	(338)
4 环境噪声控制	(339)
4.1 环境噪声及其评价	(339)
4.2 环境噪声标准	(344)
4.3 环境噪声控制原则和方法	(346)
4.4 城市环境噪声控制	(347)
4.5 建筑设计与噪声控制	(350)
4.6 管道消声	(353)
【本章习题】	(353)
5 室内音质设计	(355)
5.1 音质设计概论	(355)
5.2 大厅体型设计	(357)
5.3 房间混响设计	(366)
5.4 电声系统	(369)
5.5 各类建筑的音质设计	(375)
【本章习题】	(384)
建筑物理实验指导书	(385)
一、建筑热工实验	(385)
二、建筑光学实验	(391)

三、建筑声学实验	(393)
附录	(399)
附录 1 建筑材料热物理性能计算参数	(399)
附录 2 导热系数 λ 及蓄热系数 S 的修正系数 a	(406)
附录 3 标准大气压下不同温度时的饱和水蒸汽分压力(Pa)	(407)
附录 4 中国建筑气候二级区划指标	(410)
附录 5 室外计算参数	(411)
附录 6 全国主要城市夏季太阳辐射照度(W/m^2)	(413)
附录 7 严寒和寒冷地区采暖居住建筑各部分围护结构传热系数	(416)
附录 8 夏热冬冷地区居住建筑各部分围护结构传热系数	(418)
附录 9 夏热冬暖地区居住建筑各部分围护结构传热系数	(419)
附录 10 公共建筑各部分围护结构传热系数	(421)
附录 11 位置指数表	(424)
附录 12 灯具光度数据示例	(425)
附录 13 灯具利用系数	(428)
附录 14 常用材料和结构的吸声系数	(444)
附录 15 常用墙板空气声隔声量	(448)
附录 16 各类型楼板的标准撞击声级	(452)
参考文献	(454)

第 1 篇

建筑热环境

为人们创造良好的室内环境是建筑设计的任务之一,其中热环境是评价室内环境优劣的一个重要方面。国内外学者对既有建筑的热环境分析研究表明:在针对不同室外气候条件创造良好的室内热环境方面,建筑设计起着主导作用,建筑朝向、体形设计、窗墙面积比及外围护结构的构造都对建筑的室内热环境和节能有很大影响;采暖、空调设备的配合对创造适宜热环境虽不可忽视,但毕竟处于第二位。当建筑设计考虑不周、只靠设备来解决时,不但将增加能耗,而且也达不到最佳效果。反之,如果建筑处理恰当,即使在很不利的室外气候条件下,仍然能够创造出较为舒适的室内热环境。

1 建筑热环境基础知识

本章介绍建筑热环境的基本原理,论述如何通过建筑和规划设计上的相应措施,有效地防护和利用室内外热环境,合理地解决建筑物的保温、防热、防潮、节能、生态等问题,创造良好的室内热环境,从而提高人居环境品质。

1.1 建筑中的传热方式

建筑与周围环境和建筑内部之间都存在热传递现象。为了创造适宜的室内热环境,需要对建筑的得热和失热进行控制。建筑室内外的热交换主要包括以下 10 个方面,如图 1-1 所示。

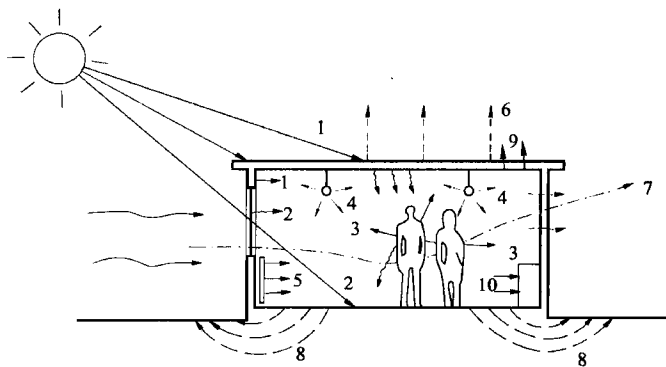


图 1-1 建筑热平衡图

①通过墙面和屋顶的太阳辐射得热。构件的外表面吸收了太阳辐射并将其转换成热能,传导到构件的内表面,再经表面辐射及空气对流换热将热量传入室内。

②通过窗的太阳辐射得热。主要是直接透过玻璃的辐射。

③居住者的人体散热。

④电灯和其他散热设备散热。

⑤采暖设备散热。

⑥通过外围护结构的传导和对流辐射向室外散热。

⑦空气渗透和通风带走热量(夏季则为得热)。

⑧地面传热。

⑨室内水分蒸发,这部分水蒸汽排出室外所带走的热量(潜热)。

⑩制冷设备吸热。

为了让室内处于稳定的适宜温度,在室内达到热舒适环境后应使以上各项得热的总和等于失热的总和,以取得建筑中的热平衡。

传热是指物体内部或者物体与物体之间热传递的现象。凡是一个物体的各部分或者物体与物体之间存在着温度差,就必然有热传递现象发生。根据传热机理的不同,热传递方式有导热、对流和辐射三种基本方式。建筑中的传热过程虽然复杂,但仍不外乎三种基本方式的组合。因此,为了解决建筑中的热工问题,首先必须研究三种基本传热方式的传热机理及规律。

1.1.1 导热

1. 导热的机理

导热是物体不同温度的各个部分直接接触而发生的热传递现象。导热可以发生在固体、液体和气体之中。它是由于温度不同的质点(分子、原子或自由电子)热运动而传递热量,只要相互接触的物体间有温度差就会存在导热现象。

根据物体温度分布状况的不同,导热可以分为一维、二维和三维导热;根据热流和温度分布是否随时间而改变,可以分为稳定导热(传热)和非稳定导热(传热)。

傅立叶定律指出:物体在单位时间、单位面积上传递的热量与在其法线方向的温度变化率成正比。如图 1-2 所示。

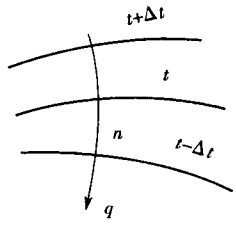


图 1-2 温度梯度与热流方向

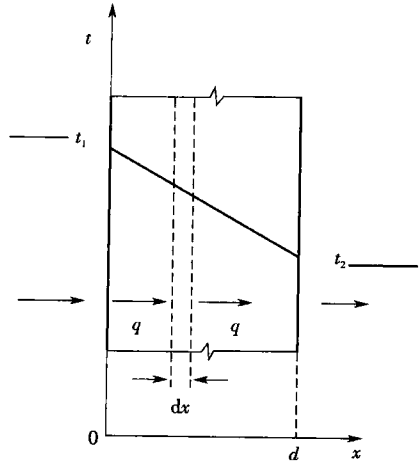


图 1-3 一维稳定传热

2. 一维稳定传热

一维稳定传热指仅在一个方向上有温差,并且热流和温度均不随时间而变化的情况。图 1-3 所示为一个面积很大的平壁,两表面的温度分别维持均匀而恒定的温度 t_1 、 t_2 ,且 $t_1 > t_2$,则热流均匀地从 t_1 面流向 t_2 面。由于表面温度均匀不变,在截面上各点温度和热流密度也必然稳定不变。

一维稳定传热的计算见公式(1-1)。

$$q = \lambda \frac{t_1 - t_2}{d} \quad (1-1)$$

式中: q ——热流密度或热流强度,即单位时间内在单位面积上通过的热量, W/m^2 ;

λ ——壁体材料的导热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$;

t_1 ——高温表面温度, K ;

t_2 ——低温表面温度, K ;

d ——壁体的厚度, m 。

建筑热工计算中,冬季采暖建筑外围护结构的保温设计,一般按一维稳定传热计算。

3. 一维不稳定传热

一维不稳定传热现象产生于物体在一个方向上有温差,且温度随时间变化。在建筑上遇到的不稳定传热多属于周期性不稳定传热,即热作用和物体内部温度呈周期性变化。按照热作用的情况又分为单向周期性热作用和双向周期性热作用。

建筑热工计算中,空调房间的夏季隔热设计一般按单向周期性热作用计算;自然通风房间的夏季隔热设计一般按双向周期性热作用计算。

4. 材料的导热系数及其影响因素

从公式(1-1)可以看出,导热系数 λ 值反映了材料的导热能力,其定义是:在稳定传热状况下,当材料层单位厚度内的温度差为 1 K 时,在 1 h 内通过 1 m^2 面积的热量。

建筑材料的导热系数主要受材质、密度、湿度和温度等因素的影响。常用建筑材料的导热系数见附录 1。

(1) 材质的影响

由于不同材料的组成成分或者结构不同,其导热性能也就各不相同。气体的导热系数最小,其数值约在 $0.006 \sim 0.6 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 之间,如空气在常温常压下的导热系数为 $0.029 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,那么静止不流动的空气应具有很好的保温能力。液体的导热系数则一般大于气体,其数值约在 $0.07 \sim 0.7 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 之间,如水在常温常压下的导热系数为 $0.58 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。金属的导热系数最大,其数值约在 $2.2 \sim 420 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 之间,如建筑钢材的导热系数为 $58.2 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。非金属固体材料如大多数建筑材料一样,导热系数一般均低于金属材料,介于 $0.3 \sim 3.5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 之间。

工程中常把导热系数 $\lambda < 0.3 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 的材料作为保温隔热材料,如矿棉、泡沫塑料、膨胀珍珠岩、膨胀蛭石等。

(2) 材料表观密度的影响

表观密度表征材料的密实程度。内部孔隙多的材料表观密度小,一般导热系数也小。良好的保温材料多数都是孔隙多、表观密度小的轻质材料。但是当表观密度小到一定程度后,如果再加大孔隙率,则导热系数不仅不会降低,反而会增大。原因

是太大的孔隙率不仅意味着孔隙数量多,而且孔隙也大,大孔隙中空气对流作用增强,从而加大材料的导热能力。因此轻质材料,尤其是某些纤维和发泡材料,存在导热系数值最小的最佳密度。图 1-4 为玻璃棉的导热系数与密度的关系。

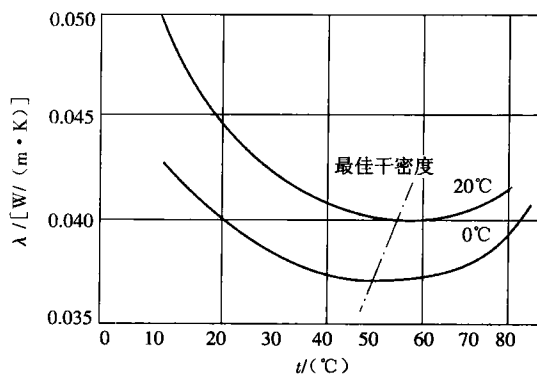


图 1-4 玻璃棉的导热系数与密度的关系

(3) 材料含湿量的影响

建筑材料受潮后,其导热系数将显著增加,原因在于材料孔隙中有了水分后,不但增加了水蒸汽扩散的传热量,还增加了毛细孔中水分的传热量。一般情况下水的导热系数约为 $0.58 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$,冰的导热系数约为 $2.33 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$,显然,水和冰的导热系数都远远大于空气的导热系数,因此,用水和冰取代孔隙中的空气必将使材料导热系数加大。图 1-5、图 1-6 表示材料导热系数 λ 与湿度 ω 的关系。

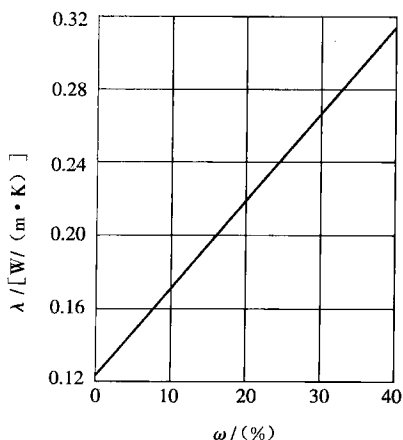


图 1-5 加气混凝土导热系数与湿度的关系

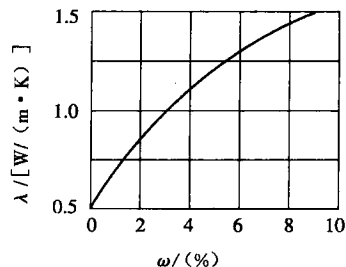


图 1-6 砖砌导热系数与湿度的关系

通常干燥材料的导热系数是随温度降低而减小的,但当材料湿度较大时,材料中的水分会随着温度降至 0°C 以下而凝结成冰,此时,材料的导热系数反而会增大,可