

A



普通高等教育土建学科专业“十一五”规划教材
高校建筑学与城市规划专业教材

建筑物理

(第四版)

西安建筑科技大学 华南理工大学 编著
重庆大学 清华大学
西安建筑科技大学 刘加平 主编

中国建筑工业出版社



普通高等教育土建学科专业“十一五”规划教材
高校建筑学与城市规划专业教材

建筑物理

(第四版)

西安建筑科技大学 华南理工大学 编著
重庆大学 清华大学
西安建筑科技大学 刘加平 主编

中国建筑工业出版社



图书在版编目 (CIP) 数据

建筑物理 / 刘加平主编. —4 版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2009

普通高等教育土建学科专业“十一五”规划教材

A + U 高校建筑学与城市规划专业教材

ISBN 978 - 7 - 112 - 10851 - 0

I. 建… II. 刘… 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 095139 号

本书是普通高等教育土建学科专业“十一五”规划教材, 全书包括建筑热工学、建筑光学和建筑声学三大部分共 15 章, 包括基本原理与应用实例等, 内容丰富详实。第四版是根据在建筑领域兴起的绿色建筑研究和实践, 并考虑到全国注册建筑师的考试要求, 对前版修订而成, 更加注重与现行相关建筑设计规范的衔接, 同时强调了建筑与生态环境的关系。书中改写和补充了部分章节的内容, 引入了建筑技术科学发展的前沿成果, 进一步提高了内容的科学性和先进性, 并更加符合建筑学专业学生的接受能力和从事环境设计的需要。本书为全国高校建筑学、城市规划专业的教材, 也可供与建筑业有关的设计、施工等技术人员参考。

责任编辑: 陈 桦 王玉容

责任设计: 赵明霞

责任校对: 兰曼利 孟 楠

普通高等教育土建学科专业“十一五”规划教材
A + U 高校建筑学与城市规划专业教材

建筑物理 (第四版)

西安建筑科技大学 华南理工大学 编著

重庆大学 清华大学

西安建筑科技大学 刘加平 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京嘉泰利德公司制版

北京同文印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 35 $\frac{3}{4}$ 字数: 892 千字

2009 年 8 月第四版 2009 年 8 月第二十七次印刷

定价: 49.00 元

ISBN 978 - 7 - 112 - 10851 - 0

(18276)

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)

前 言

(第四版)

《建筑物理》第四版是在原刘加平主编的《建筑物理》第三版统编教材的基础上编写而成的。本版教材延续了原书的基本框架体系, 根据全国建筑学和城市规划专业教学指导委员会对培养执业建筑师和规划师的要求, 针对建筑节能、生态建筑设计和绿色建筑评估等工作对建筑物理基础知识的需求, 结合我国最新颁布的相关设计标准与规范, 分别对建筑热工学、建筑光学和建筑声学三个组成部分进行了体系上的完善和内容上的调整。

建筑物理是建筑学的重要组成部分, 体现着建筑设计学科的技术科学属性。作为核心内容, 建筑物理与建筑构造和绿色建筑技术等课程共同构成建筑技术科学体系。在本教材的修编过程中, 特别注重了基本概念的准确性; 建筑热湿、声和光环境设计原理的实用性; 各种环境性能指标与现行设计标准和规范的衔接性; 建筑环境量化分析与计算与专业开发软件的对应性; 建筑材料与构造的适宜性和先进性以及学科发展的前瞻性。

实践证明建筑物理的原理与应用渗透在城市规划设计、建筑群体布局、建筑空间设计、建筑材料选择、建筑构造设计甚至是在施工技术与管理之中, 而绿色与生态建筑环境的创造则是在采暖、空调、通风、灯光和音响等设备的配合下, 很大程度取决于建筑本体在建筑保温、建筑防热、太阳能利用、天然采光、环境照明、音质设计、噪声控制和生态适应等方面所具有的优良品质和性能。因此, 在建筑物理课程的教学过程中, 应将教材中相对独立的三篇内容看作是构建建筑绿色性能必要的整体组成部分, 坚持将建筑物理学的基本原理、设计策略与技术措施贯彻到建设活动的全过程之中。

《建筑物理》统编教材历经不断修编和完善已经拥有了近60个年轮, 为我国培养建筑学和城市规划专业人才作出了积极的贡献, 对我国建筑行业的健康发展产生了深远的影响。在此, 编者对逐步建立建筑物理学科体系、完善建筑物理环境教学内容、引领建筑技术科学向前发展的前辈们表示崇高的敬意和诚挚的感谢!

本书第四版由刘加平主编。其中建筑热工学篇的编者是刘加平(西安建筑科技大学)、刘铮(内蒙古工业大学)、孟庆林(华南理工大学); 建筑光学篇的编者是陈仲林(重庆建筑大学); 建筑声学篇的编者是秦佑国、燕翔(清华大学)。

刘加平
2009 于西安建筑科技大学

前 言

(第三版)

《建筑物理》第三版是在原西安冶金建筑学院、华南工学院、重庆建筑工程学院和清华大学等四院校合编的《建筑物理》统编教材第二版基础上编写而成的。

新版教材基本保持了原书的风格和框架体系，全书仍然分为建筑热工学、建筑光学和建筑声学三个相对独立的组成部分。为贯彻全国建筑学专业指导委员会倡导的建筑教育中应重视“厚基础、宽口径”的基本精神，在修编中除继续完善基本的概念和原理，对部分章节的内容和图例进行了调整外，还增加了建筑中太阳能利用和绿色照明的内容，更新了城市噪声控制部分内容，参考了全国一级注册建筑师考试大纲，注重了与现行相关建筑设计规范的衔接。其目的在于，通过建筑物理课程学习，不但能熟练地掌握建筑物理学的基本原理，而且能够运用建筑设计、构造设计、合理选材等“被动式”手段，创造出适宜的热环境、光环境和声环境，并能够节约能源和材料。这是因为，在建筑学科领域兴起的绿色建筑的研究与实践，要求人们在逐步提高居住环境质量的同时，应当节约能源和自然资源，保护自然生态环境，而建筑物理学中所提倡的物理环境设计方法，正是符合可持续发展原理的“绿色”方法。

国内建筑院校开设建筑物理课程已近 50 个春秋，经过几代人的努力，建筑物理环境的教学、研究和应用已发展成为较完整的学科体系。早在 20 世纪 60 年代初，中国建筑工业出版社就组织原西安冶金建筑学院、清华大学、原重庆建筑工程学院和原华南工学院的部分教师，编写了我国第一本《建筑物理》统编教材。1979 年，原书的编者们重新编写了新版《建筑物理》，1987 年又对其修订出版了第二版。先后参加过原书编写和审稿的人员包括我国在建筑热工学、建筑光学和建筑声学领域的众多前辈，其中有西安建筑科技大学王景云教授，原西安冶金建筑学院王建瑚教授，华南理工大学林其标教授，清华大学车世光教授、张昌龄教授、李晋奎教授、谭恩慈教授、黄祥村教授，重庆建筑大学杨光璿教授、罗茂羲教授，东南大学柳孝图教授、甘桎教授、何凤飞教授等。如此众多著名学者的共同贡献，作为建筑物理发展史上的里程碑，将对我国建筑学教育的发展产生深远影响。

在本书第三版初稿完成之际，征得中国建筑工业出版社同意，本书主编聘请重庆建筑大学陈启高教授、天津大学沈天行教授和同济大学钟祥瑞教授分别对建筑热工学、建筑光学和建筑声学进行了审阅。审阅人提出的许多建设性意见对提高本书的编写质量起到了重要的作用。

本书第三版由刘加平主编。其中建筑热工篇编者为刘加平、钟珂（西安建筑科技大学）、王建瑚（青岛建筑工程学院）和黎明（华南理工大学）；建筑光学篇编者为陈仲林、杨光璿（重庆建筑大学）；建筑声学篇编者为李晋奎（清华大学）和刘铮（内蒙古工业大学）。

刘加平

1999 年国庆于西安建筑科技大学

前 言

(第二版)

本书第二版是根据 1985 年 4 月在南京工学院召开的建筑学专业教材编委会的决定, 结合实际使用的经验, 在第一版的基础上编写的。

本版在体系上除第四、七章有局部变更外, 整体上没有大的变动。编写工作的重点在于内容的改进, 主要是: 第一篇中修改了室内气候评价方法的内容, 介绍了 ET^* 和 PMV 等评价指标; 删去了不稳定传热部分的导热微分方程、谐波分析以及半无限大物体在谐波作用下的传热特征; 对周期性传热计算方法的讲述, 也作了改进。建筑保温一章变化较大, 不仅增加了外保温和 USD 构造方法等新技术, 并更新了大部分构造图例。为使学生对围护结构湿状况有较全面的认识, 增加了一些有关材料吸湿和湿迁移的物理概念的叙述。第六章改进了日地运行规律的论述, 精简了内容, 删去了太阳高度角和方位角的图解法。

第二篇第七章改变了体系和内容, 先讲眼睛与视觉, 使光学的后续内容有了顺理成章的基础。天然采光部分, 除增加了一些新资料外, 主要是删减了等采光系数法, 突出了我国标准所规定的方法。照明部分除精简了计算方法的内容以外, 还丰富了人工光源及室内环境照明设计等的图表和资料。

第三篇改进最大的是噪声允许标准部分, 其中不仅增加了对我国和 ISO 有关标准的介绍, 还补充了非稳态噪声的等效声级的计算方法, 累计分布声级的概念等新内容。此外, 还删去了设备减振、简谐系统的振动方程、考虑吸声分布不均匀时的混响计算公式等, 并改进了房间共振问题的论述。

除上述内容上的精简、更新、充实之外, 本版还按近年来我国先后颁布的有关规程和标准, 进行了修改和协调, 以便使学生在学习时就受到工程应用的训练。此外, 还全面实现了从工程单位向国际制单位的转变。为了实现这一转变, 不仅更改了大量的物理量及常用数据的数值, 还重新改绘了一些曲线图, 希望教师备课时加以注意。

本版仍由西安冶金建筑学院、华南工学院、重庆建筑工程学院、清华大学等四院校有关教师合编, 由南京工学院主审, 主审人是柳孝图、甘桢二位同志。

由于工作变动等原因, 一部分原编者未能参加第二版的编写工作。

本书由王景云同志主编。各部分的编者是: 王景云 (第一、三章), 王建璐 (第二、四章), 林其标 (第五、六章), 杨光璿 (第二篇), 车世光 (第三篇)。

编者

1986 年 9 月

前 言

(第一版)

建筑物理是建筑环境科学的基本组成部分。本书内容包括建筑热工学、建筑光学和建筑声学。这些内容可概括为：研究建筑中的热、光、声等物理现象和材料的热物理、光学及声学性能；论述为获得良好的热、光、声环境的设计原理和方法。

建筑物理是培养高级建筑设计人才不可缺少的专业基础课程。建筑设计人员必须掌握一定的建筑物理知识，否则就不可能完满地解决有关热、光、声环境的设计问题，也就不可能保证现代建筑应有的设计质量。

必须认识到，从建筑规划、设计到局部的构造设计，甚至施工管理，自始至终都涉及建筑物理的有关知识和技能。例如，在建筑规划中，如不考虑噪声的危害而将有强烈噪声的工厂布置在居民区内，必将严重影响居民的生活与休息。房屋的朝向、间距不合理，则在炎热地区必将加重室内过热现象，而在寒冷地区又会得不到应有的日照而影响室内卫生。

在单体建筑设计中，由于大多数建筑物都有其对热、光、声方面的具体要求，且在许多情况下，这些要求对房屋的使用质量具有重大甚至是决定性意义，当然就更离不开建筑物理技术。例如，就室内气候而言，如果大量性工业与民用建筑的保温、防热处理不好，势必影响亿万人民的正常生活与工作。而一座冷库的绝热防潮处理不合要求，一到炎热季节，库温上升，货物变质，将造成经济上的巨大损失。在光环境设计方面，仅从中小学教室因采光、照明条件不好，使青少年视力普遍下降的严重情况，就可看到其重要性。对室内音质要求高的房间，如影剧院、音乐厅等，则建筑设计中的声学处理具有决定性的意义。噪声干扰，特别是住宅楼板隔声性能低劣，已是建筑设计中必须认真解决的突出问题。

由此可见，建筑物理知识对提高建筑设计质量，促进建筑工业现代化具有多么重大的意义。因此，在专业教育中，必须加强建筑物理的教学工作；在设计工作中，必须充分应用建筑物理技术。

通过本课程的讲授和习题、实验的训练，将使学生掌握建筑物理的基本原理，具备相应的设计能力。在学习本课时，首先应力求从物理概念上弄清热、光、声等物理现象在建筑中的传播规律。在此基础上，一方面注意掌握设计原则，另一方面也要重视材料的有关性能和构造设计技能，此外，还应了解计算公式的物理意义并能较熟练地进行计算。

本书是根据1978年制订的编写大纲，由西安冶金建筑学院、华南工学院、重庆建筑工程学院、清华大学等四院校有关教师共同编写，由南京工学院柳孝图、甘桢、何凤飞三同志主审定稿的。

本书由王景云同志主编。各部分的编者是：王景云（第一、三章），王建瑚（第二、四章），林其标（第五、六章），杨光璿、罗茂羲（第七、八、九章），谭恩慈、黄祥村（第十章），李晋奎（第十一、十三章），黄祥村（第十二章），车世光、张昌龄（第十四章），车世光（第十五章）。

编者

1979年9月

基本符号表

建筑热工学

A	温度、热流等的波动振幅, $^{\circ}\text{C}$	$R_{0,\min}$	最小总热阻, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
A_s	太阳方位角, $^{\circ}$	R_0	总热阻, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
A_{θ_i}	围护结构内表面温度振幅, $^{\circ}\text{C}$	r	对辐射热的反射系数, 无量纲
A_w	墙的方向角, $^{\circ}$	S	材料的蓄热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
B	地面的吸热指数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{-\frac{1}{2}} \cdot \text{K})$	t_d	露点温度, $^{\circ}\text{C}$
b	材料的热渗透系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{-\frac{1}{2}} \cdot \text{K})$	t_i	室内气温, $^{\circ}\text{C}$
C	物体表面的热辐射系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$	t_e	室外气温, $^{\circ}\text{C}$
c	比热容, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$	t_{sa}	室外综合温度, $^{\circ}\text{C}$
D	热惰性指标, 无量纲	ω	水蒸气渗透强度, $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$
E_{λ}	单色辐射本领, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \mu\text{m})$	Y	材料层表面蓄热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
E	辐射本领, W/m^2	Y_i	内表面蓄热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
f	绝对湿度, g/m^3	Y_e	外表面蓄热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
H	水蒸气渗透阻, $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}/\text{g}$	α_c	对流换热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
H_0	总水蒸气渗透阻, $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}/\text{g}$	α_e	外表面热转移系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
h_s	太阳高度角, $^{\circ}$	α_i	内表面热转移系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
I	太阳辐射强度, W/m^2	α_r	辐射换热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
K	传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	δ	太阳赤纬角, ($^{\circ}$)
K_0	总传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	ε	黑度 (发射率), 无量纲
P	水蒸气分压力, Pa	θ	表面温度, $^{\circ}\text{C}$
P_s	饱和水蒸气分压力, Pa	λ	材料导热系数, $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$
$P_{s,c}$	冷凝界面处的饱和水蒸气分压力, Pa		热辐射波长, μm
P_i	室内空气的水蒸气分压力, Pa	μ	蒸汽渗透系数, $\text{g}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$
P_e	室外空气的水蒸气分压力, Pa	ν	衰减位数, 无量纲
Q	传热量, W	ν_0	由室外空气到内表面的总衰减度
q	热流强度, W/m^2	ξ	延迟时间, h
q_c	对流换热强度, W/m^2	ξ_0	总延迟时间, h
q_r	辐射换热强度, W/m^2	ρ	对辐射热的吸收系数, 无量纲
R	传热阻, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$	ρ_s	对太阳辐射的吸收系数, 无量纲
R_i	内表面热转移阻, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$	τ	时间, h
R_e	外表面热转移阻, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$	Φ	相位角, deg
		φ	空气相对湿度, %
		ω_v	体积湿度, %
		ω_w	重量湿度, %

建筑光学

A	面积, m^2
C	彩度; 采光系数, %; 亮度对比系数
C_m	顶部采光系数平均值, %
C_{min}	侧面采光系数最低值, %
C_d	天窗窗洞口的采光系数, %
C'_d	侧窗窗洞口的采光系数, %
C_u	照明装置的利用系数
d	识别物件细节尺寸, mm
E	照度, lx
E_n	室内照度, lx
E_w	室外照度, lx
Φ	光通量, lm
I_n	发光强度, cd
K_f	晴天方向系数
K	光气候系数; 维护系数
K_c	窗宽修正系数
K_q	高跨比系数
K_p	顶部采光的室内反射光增量系数
K'_p	侧面采光的室内反射光增量系数
K_t	天窗总透光系数
K'_t	侧窗总透光系数
K_w	侧窗采光的室外遮挡物挡光折减系数
L_s	亮度, cd/m^2
L_t	目标亮度, cd/m^2
L_b	背景亮度, cd/m^2
L_θ	仰角为 θ 的天空亮度, cd/m^2
L_z	天顶亮度, cd/m^2
H	色调
V	明度
N	中性色
R_a	一般显色指数
R_t	特殊显色指数
ΔE	色差
RCR	室空间比
CCR	顶棚空间比

$V(\lambda)$	光谱光视效率
α	光吸收比; 视角, 分
τ	光透射比
ρ	光反射比
$\bar{\rho}$	室内各表面光反射比的加权平均值
η	灯具效率, %
λ	波长, nm
λ_m	在明视觉条件下视感觉最大值对应的波长
Ω	立体角, sr
UGR	统一眩光值
CRF	对比显现因数
LPD	照明功率密度, W/m^2

建筑声学

A	振幅, m 或 cm
T	周期, s
T_{60}	混响时间, s
λ	波长, m
c	声速, m/s
E_0	总入射声能量, J
E_r	反射声能量, J
E_t	透射声能量, J
E_a	吸收声能量, J
γ	反射系数, %
τ	透射系数, %
α	吸声系数, %
α_0	垂直入射 (或正入射) 吸声系数, %
α_T	无规入射吸声系数/扩散入射吸声系数, %
A	吸声量, m^2
f	声音的频率, Hz
f_0	共振/固有频率, Hz
f_c	频带中心频率, Hz
p	声压, N/m^2
P	材料穿孔率, %
P_0	参考声压, $2 \times 10^{-5} N/m^2$

I	声强, W/m^2	d	声音在室内的衰减率, dB/s
I_0	参考声强, $10^{-12}\text{W}/\text{m}^2$	Q	声源指向性因数, 无量纲
W	声源声功率, W	R	房间常数, m^2
W_0	参考声功率, 10^{-12}W	R	构件隔声量, dB
L_p	声压级, dB	V_s	每座容积, m^3
L_A	A声级, dB (A)	R_w	空气声计权隔声量, dB
L_{eq}	等效连续 A 声级, dB (A)	$D_{nT,w}$	计权标准化声压级差, dB
L_{dn}	昼夜等效声级, dB (A)	C	粉红噪声频谱修正量
L_N	累积分布声级, dB (A)	C_{tr}	交通噪声频谱修正量
NII	噪声冲击指数	K	结构的刚度因素, $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^2)$
L_l	声强级, dB	E	板材料的动态弹性模量, N/m^2
L_w	声功率级, dB	σ	泊松比
L_n 、 L_{pm}	规范化撞击声压级, dB	f_c	吻合临界频率, Hz
$L_{n,w}$ 、 $L_{pm,w}$	计权规范化撞击声压级, dB	$C(C_{80})$	音乐明晰度指标, dB
L'_{nT} 、 L'_{pmT}	标准化撞击声压级, dB	D	语言清晰度指标, %
$L'_{nT,w}$ 、 $L'_{pmT,w}$	计权标准化撞击声压级, dB	RR	(Room response), 房间响应
$\Delta L_{pm,w}$	计权规范化撞击声压级改善量, dB	$IACC$	两耳互相关函数
D	声能密度, $(\text{W} \cdot \text{s})/\text{m}^3$ 或 J/m^3 ; 板的弯曲刚度; 语言清晰度指标	EDT	早期衰减时间, s
D_0	稳态声能密度, $\text{W} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 或 J/m^3	IL	构件插入损失, dB
		s	无规入射散射系数

目 录

第 1 篇 建筑热工学

第 1 章 建筑热工学基础知识	2
1.1 室内热湿环境	2
1.2 室外热湿环境	8
1.3 建筑围护结构传热基础知识	15
思考题与习题	23
第 2 章 建筑围护结构的传热计算与应用	24
2.1 稳定传热	25
2.2 建筑保温与节能计算	34
2.3 周期性不稳定传热	39
2.4 建筑隔热设计控制指标计算	48
思考题与习题	56
第 3 章 建筑保温与节能	58
3.1 建筑保温与节能设计策略	58
3.2 非透明围护结构的保温与节能	60
3.3 保温材料与构造	66
3.4 透明围护结构的保温与节能	74
3.5 被动式太阳能利用设计	78
思考题与习题	86
第 4 章 建筑围护结构的传湿与防潮	87
4.1 建筑围护结构的传湿	87
4.2 围护结构的防潮	92
4.3 夏季结露与防止措施	97
思考题与习题	101
第 5 章 建筑防热与节能	102
5.1 热气候特征与防热途径	102
5.2 屋顶与外墙的隔热设计	106

5.3	窗口遮阳	122
5.4	房间的自然通风	134
5.5	自然能源利用与防热降温	141
5.6	空调建筑节能设计	144
	思考题与习题	150
第6章	建筑日照	151
6.1	日照的基本原理	151
6.2	棒影图的原理及其应用	156
	思考题与习题	163
	建筑热工学附录1 常用建筑材料的热工指标	164
	建筑热工学附录2 标准大气压时不同温度下的饱和水蒸气分压力 P_s 值 (Pa)	166
 第2篇 建筑光学		
第7章	建筑光学基本知识	170
7.1	视觉	170
7.2	基本光度单位及应用	173
7.3	材料的光学性质	180
7.4	可见度及其影响因素	185
7.5	颜色	190
	思考题与习题	204
第8章	天然采光	206
8.1	光气候和采光系数	206
8.2	窗洞口	213
8.3	采光设计	228
8.4	采光计算	242
	思考题与习题	251
第9章	建筑照明	253
9.1	电光源	253
9.2	灯具	264
9.3	室内工作照明	270
9.4	环境照明设计	294

9.5 绿色照明工程	315
思考题与习题	319
建筑光学附录1 CIE1931 标准色度观察者光谱三刺激值	321
建筑光学附录2 位置指数	322
建筑光学附录3 灯具光度数据示例	324

第3篇 建筑声学

第10章 建筑声学基本知识	328
10.1 声音的基本性质	328
10.2 声音的计量	335
10.3 声音的频谱与声源的指向性	341
10.4 人的主观听觉特性	344
思考题与习题	349
第11章 室内声学原理	350
11.1 室内声场	350
11.2 室内声音的增长、稳态与衰减	352
11.3 混响和混响时间计算公式	354
11.4 室内声压级计算与混响半径	357
11.5 房间共振和共振频率	359
思考题与习题	363
第12章 材料和结构的声学特性	364
12.1 吸声材料和吸声结构	365
12.2 隔声和构件的隔声特性	377
12.3 反射和反射体	398
思考题与习题	402
第13章 室内音质设计	403
13.1 音质的主观评价与客观指标	403
13.2 音质设计的方法与步骤	408
13.3 室内电声设计	422
13.4 各类建筑的音质设计	433
思考题与习题	472

第 14 章 噪声控制	473
14.1 环境噪声的危害	473
14.2 噪声评价	475
14.3 噪声允许标准和法规	478
14.4 噪声控制的原则与方法	484
14.5 城市噪声控制	486
14.6 建筑中的吸声降噪	496
14.7 隔声	498
14.8 气流噪声控制——消声器	506
14.9 掩蔽效应在噪声控制中的应用.....	510
思考题与习题	512
第 15 章 声学测量和模拟	513
15.1 声学测量概述	513
15.2 建筑环境中的噪声测量	516
15.3 混响时间测量	518
15.4 吸声系数测量	519
15.5 隔声测量	521
15.6 建筑声学中其他常用声学测量简介.....	523
15.7 模型试验	533
15.8 室内声场的计算机模拟	536
思考题与习题	539
建筑声学附录 1 各种材料和构造的吸声系数、吸声量	540
建筑声学附录 2 常用各类隔墙的计权隔声量 R_w	545
建筑声学附录 3 常用各类楼板的计权标准撞击声级 $L_{pn,w}$ (dB)	550
建筑声学附录 4 建筑声学名词英汉对照表	553
参考文献	556

第 1 篇

建筑热工学

建筑物的外围护结构将人们的生活与工作空间分为室内和室外两部分，因而，建筑热环境也就分为室内热湿环境和室外热湿环境。建筑物常年经受室内外各种热湿环境因子的作用，属于室外的因素如太阳辐射、空气的温度和湿度、风、雨雪等，一般统称为“室外热湿作用”；属于室内的因素如空气温度和湿度、生产和生活散发的热量与水分等，则称为“室内热湿作用”。

建筑热力学的任务是阐述建筑热工原理，论述如何通过建筑、规划设计的相应措施，有效地防护或利用室内外热湿作用，合理地解决房屋的保温、隔热、防潮、节能等问题，以创造良好的室内热环境，并提高围护结构的耐久性，降低建筑在使用过程中的采暖或空调能耗。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热环境的要求的。为了获得合乎标准的室内热环境，往往需要配备适当的设备，进行人工调节。如在寒冷的地区设置采暖设备，在炎热地区采用空调设备等。采用现代空调设备，当然能创造理想的室内热环境。但应注意，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，才能做出技术上和经济上都合理的设计，这也是建筑节能设计的基本策略。

建筑围护结构传热、传湿的基本原理和计算方法是建筑热工学的基础内容。同时还必须了解材料的热物理性能，重视构造处理的方法，才能正确解决实际工程设计中遇到的热湿环境控制和节能问题。

本篇内容着重介绍一般工业与民用建筑的热工设计，包括建筑保温设计、防潮设计、防热设计、太阳能利用与建筑节能设计等。希望通过本篇的学习，除了掌握必须的基础知识和理论外，在建筑设计中能够灵活掌握和运用相关国家标准和规范，如《民用建筑设计通则》GB 50352—2005、《建筑气候区划标准》GB 50178—93、《民用建筑热工设计规范》GB 50176—93、《民用建筑节能设计标准(采暖居住建筑部分)》JGJ 26—95、《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》JGJ 134—2001、《夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准》JGJ 75—2003、《公共建筑节能设计标准》GB 50189—2005等。

对于某些特殊用途的房间(如高湿、恒温恒湿房间、被动式太阳房等)的热工设计，除需应用本篇所述的内容以外，还应参阅有关的专著和文献。

第1章 建筑热工学基础知识

1.1 室内热湿环境

对使用者而言，建筑物内部环境可简单分为室内物理环境（或生理环境）和室内心理环境两部分。其中，室内物理环境属于建筑物理学的范畴。

室内物理环境是指室内那些通过人体感觉器官对人的生理发生作用和影响的物理因素，由室内热湿环境、室内光环境、室内声环境以及室内空气质量环境等组成。其中，室内热湿环境是建筑热工学必须研究的内容。

建筑师在设计每幢房屋时，都应考虑到室内热湿环境对使用者的作用和可能产生的影响，以便为使用者创造舒适的热湿环境。舒适的热湿环境是维护人体健康的重要条件，也是人们得以正常工作、学习、生活的基本保证。在舒适的热湿环境中，人的知觉、智力、手工操作的能力可以得到最好的发挥；偏离舒适条件，效率就随之下落；严重偏离时，就会感到过冷或过热甚至使人无法进行正常的工作和生活。在创造舒适热环境的同时，还应考虑建筑在使用过程中的节能与降耗，控制建筑的能耗，从而达到国家或地区对相关建筑能耗的限定指标。

1.1.1 室内热湿环境构成要素及其对人体热舒适的影响

人体与其周围环境之间保持热平衡，对人的健康与舒适来说是首要的条件之一。取得这种平衡的条件以及身体对周围环境达到平衡时的状态，取决于许多因素的综合作用。其中一些属于个人的因素，如活动量、适应力以及衣着情况等；另外相关的因素是构成室内热湿环境的要素，其中包括：室内空气温度、空气湿度、气流速度以及环境辐射温度。

建筑热环境的设计目标是舒适、健康、高效。在室内热湿环境中，空气温度的高低在很大程度上直接决定着人体的冷热舒适感；空气湿度与温度共同作用又影响着人体的舒适与健康，如冬季的阴冷潮湿和夏季的湿热都不是理想的居住环境；适

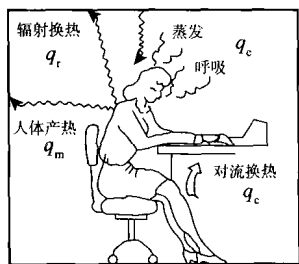


图1-1 人体与环境之间的热交换 (1-1) 表示。

适当的空气流动速度在夏季能有效地提高人体的热舒适感；室内环境物体表面辐射温度的高低，对人体热感觉的影响更是不容忽视，如冬季用于采暖的壁炉、散热器、热辐射地面等，都是创造热舒适环境和高效利用能源的必需设备。

欲保持人体稳定的体温，体内的产热量应与环境的失热量相平衡。人体的得热和失热过程可用图1-1和式

$$\Delta q = q_m - q_r \pm q_e \pm q_c \quad (1-1)$$

式中 q_m ——人体产热量, W;
 q_e ——人体蒸发散热量, W;
 q_r ——人体辐射换热量, W;
 q_c ——人体对流换热量, W;
 Δq ——人体得失的热量, W;
 $\Delta q = 0$ 时, 体温恒定不变;
 $\Delta q > 0$ 时, 体温上升;
 $\Delta q < 0$ 时, 体温下降。

人体产热量 q_m 主要取决于机体活动的剧烈程度。在常温下, 处于安静状态的成年人, 每小时的产热量约 95 ~ 115W。当他从事重体力劳动时, 每小时的产热量可达 580 ~ 700W。在人体尚未出汗时, 蒸发散热量 q_e 是通过呼吸和无感觉的皮肤蒸发进行的。当劳动强度变大或环境较热时, 人体大量出汗, q_e 随汗液的蒸发而显著增加。

辐射换热量 q_r 主要是在人体表面与周围墙壁、顶棚、地面以及窗玻璃之间进行的。如果室内有火墙、壁炉、辐射采暖板之类的采暖装置, 当然 q_r 就包括与这些装置的辐射换热在内。当人体表面温度高于周围表面温度时, 辐射换热的结果, 人体失热, q_r 为负值; 反之, 则人体得热, q_r 为正值。

对流换热量 q_c 是当人体表面与周围空气之间存在温度差时的热交换值。当体表温度高于气温时, 对流换热的结果, 人体散热, 感到凉爽 (夏季) 或寒冷 (冬季), q_c 为负值。反之, 则人体得热, q_c 为正值。

当 $\Delta q = 0$ 时, 人体处于热平衡状态, 体温维持正常不变 (约为 36.5 °C), 在这种情况下, 人的健康不会受到损害。但必须指出, $\Delta q = 0$ 并不一定表示人体处于舒适状态, 因为各种热量之间可能有许多不同的组合都可使 $\Delta q = 0$, 也就是说, 人们会遇到各种不同的热平衡, 然而, 人体随时都在产生热, 只有那种能使人体按正常比例散热的热平衡, 才是舒适的。

所谓按正常比例散热, 指的是对流换热约占总散热量的 25% ~ 30%, 辐射散热约占 45% ~ 50%, 呼吸和无感觉蒸发散热约占 25% ~ 30%。当劳动强度或室内热环境要素发生变化时, 本来是正常的热平衡就可能被破坏, 但并不至于立即使体温发生变化。这是因为人体有一定的代谢率的调节机能。当环境过冷时, 皮肤毛细血管收缩, 血流减少, 皮肤温度下降以减少散热量; 当环境过热时, 皮肤血管扩张, 血流增多, 皮肤温度升高, 以增加散热量, 甚至大量出汗使 q_e 变大, 以争取新的热平衡。这时的热平衡称为“负荷热平衡”。

在负荷热平衡下, 虽然 Δq 仍等于零, 但人体却已不在舒适状态。不过只要分泌的汗液量仍在生理允许的范围之内, 则负荷热平衡是可以忍受的。

人体的物质代谢调节能力是有一定限度的, 它不可能无限制地通过减少输往体表血量的方式来抵抗冷环境, 也不可能无限制地借蒸发汗液来适应过热环境。当室内热环境恶化到一定程度之后, 终将出现 $\Delta q \neq 0$ 的情况, 于是体温开始发生升降现象。虽然当体温变化不大, 持续时间不长时, 改变环境后仍然可以恢复到正常体温, 但从生理卫生方面来看, 这已是不能允许的。