

建筑光学

- A 面积, m^2 ;
 A_w 窗洞面积, m^2 ;
 A_e 天棚面积, m^2 ;
 A_f 地板面积, m^2 ;
 A_{wo} 墙面积, m^2 ;
 C 采光系数, %;
 $\bar{C}$ 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'_d 侧窗窗洞的采光系数, %;
 C_l 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;
 E_i 室内照度, lx;
 E_o 室外照度, lx;
 F 光通量、光通, lm;
 I 发光强度, cd;
 K 照度补偿系数;
 K_c 窗宽修正系数;
 K_g 高跨比系数;
 K_o 天窗采光的室内反射光增量系数;
 K'_o 侧窗采光的室内反射光增量系数;
 K_t 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, nt;
 L_b 背景亮度, nt;
 L_θ 离地面 θ 角处的天空亮度, nt;
 Φ_λ 波长为 λ 的辐射通量, W;
 RCR 室空间比;
 RCC 天棚空间比;
 $V(\lambda)$ 波长为 λ 的光谱光效率;
 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

- A 振幅, m或cm;
 c 声速, m/s;
 D 声音在室内的衰减率, dB/s;
 E_o 总入射声能量, J;
 E_r 反射的声能量, J;
 E_a 吸收的声能量, J;
 E_t 透射的声能量, J;
 f 声音的频率, Hz;
 f_o 固有频率, Hz;
 I 声强 W/m^2 ;
 I_o 国际标准化组织 (ISO) 推荐的构件隔空气声的隔声指数, dB;
 I_i 国际标准化组织推荐的构件隔撞击声的隔声指数, dB;
 K 倔强系数, N/m;
 L_i 声强级, dB;
 L_N 标准撞击声级, dB;
 L_P 声压级, dB;
 L_w 声功率级, dB;
 N 噪声评价指数; 隔声屏障的减噪量, dB;
 P 穿孔板的穿孔率, %;
 p 声压, N/m^2 ;
 Q 声源指向性因数, 无量纲;
 R 房间常数, m^2 ; 构件隔声量, dB;
 T 周期, s; 振动的传输率, %;
 T_{60} 混响时间, s;
 TL 构件传声损失, dB;
 W 声源声功率, W;
 X 隔声屏障的衰减系数;
 α 吸声系数, %;
 λ 波长, m;
 ρ_o 空气密度, kg/m^3 ;
 τ 透射系数, %;
 ω 圆频率, rad/s;
 ω_o 振动系统的自振圆频率, rad/s。

本书是根据1980年以来建筑学专业讲授建筑物理课程的教学经验和建筑科学的新进展,对第一版进行修订而成。与第一版相比,删去了数理内容较深的部分,改写和补充了一部分章节的内容,并对习题作了调整和补充,使之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。全书仍包括建筑热工学、建筑光学和建筑声学三大部分。

高等学校试用教材

建筑物理

(第二版)

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

编

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 20 1/4 字数: 500 千字

1987年7月第二版 1987年7月第四次印刷

印数: 35,511—49,610册 定价: 3.20元

统一书号: 15040·5235

第二版前言

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，本版还接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

1986.9.

前 言

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材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

1979.9.

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_o	外表面热转移阻, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$;
A_s	太阳方位角, 度;	$R_{o, \min}$	最小总热阻, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$;
A_{θ_i}	围护结构内表面温度振幅, $^{\circ}\text{C}$;	R_o	总热阻, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$;
A_w	墙的方位角, 度;	r_h	对辐射热的反射系数, 无因次量;
a	材料的导温系数, m^2/h ;	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_o	室外气温, $^{\circ}\text{C}$;
C_{12}	相当辐射系数(有效辐射系数), $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$;	t_{oa}	室外综合温度, $^{\circ}\text{C}$;
c	比热, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;	w	蒸汽渗透强度, $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;
D	热惰性指标, 无因次量;	Y	材料层表面蓄热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
E_1	单色辐射本领 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \mu\text{m})$;	Y_i	内表面蓄热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
E	辐射本领(辐射力), W/m^2 ;	Y_o	外表面蓄热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
f	绝对湿度, g/m^3 ;	α_o	对流换热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
H	蒸汽渗透阻, $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}/\text{g}$;	α_o	外表面热转移系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
H_o	总蒸汽渗透阻, $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}/\text{g}$;	α_i	内表面热转移系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
h_s	太阳高度角, 度;	α_r	辐射换热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
l	太阳辐射强度, W/m^2 ;	δ	太阳赤纬角, 度;
K	传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;	ϵ	黑度(发射率), 无因次量;
K_o	总传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;	θ	表面温度, $^{\circ}\text{C}$;
P	水蒸汽分压力, Pa ;	λ	材料导热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$;
P_s	饱和水蒸汽分压力, Pa ;		热辐射线波长, μm ;
$P_{s,c}$	冷凝界面处的饱和水蒸汽分压力, Pa ;	μ	蒸汽渗透系数, $\text{g}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$;
P_i	室内空气的水蒸汽分压力, Pa ;	ν	衰减度, 无因次量;
P_o	室外空气的水蒸汽分压力, Pa ;	ν_o	由室外空气到内表面的总衰减度;
Q	传热量, W ;	τ	延迟时间, h ;
q	热流强度, W/m^2 ;	τ_o	总延迟时间, h ;
q_o	对流换热强度, W/m^2 ;	ρ_r	对辐射热的吸收系数, 无因次量;
q_r	辐射换热强度, W/m^2 ;	ρ_s	对太阳辐射的吸收系数, 无因次量;
R	传热阻, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$;	σ	辐射常数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$;
R_i	内表面热转移阻, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$;	τ	时间, h ;
		ϕ	相位角, deg ;
		φ	相对湿度, %;
		$\bar{\psi}$	平均角系数, 无因次量;
		ω_o	体积湿度, %;
		ω_u	重量湿度, %。

目 录

第一篇 建筑热工学

第一章 建筑热工学基本知识.....1	第四章 外围护结构的湿状况.....63
第一节 室内气候.....1	第一节 材料的吸湿.....63
第二节 传热的基础知识.....5	第二节 外围护结构中的水分迁移.....64
第三节 湿空气的物理性质.....16	第三节 防止和控制冷凝的措施.....68
第二章 建筑围护结构的传热原理及 计算.....20	第五章 建筑防热.....73
第一节 稳定传热.....20	第一节 室外热环境与防热途径.....73
第二节 周期性不稳定传热.....30	第二节 外围护结构的隔热.....78
第三章 建筑保温.....42	第三节 窗口遮阳.....92
第一节 建筑保温综合处理的基本原则.....42	第四节 房间的自然通风.....100
第二节 外围护结构的保温设计.....43	第六章 建筑日照.....107
第三节 传热异常部位的设计要点.....54	第一节 日照的基本原理.....107
	第二节 棒影图的原理及其应用.....111

第二篇 建筑光学

第七章 建筑光学基本知识.....118	第三节 采光设计.....150
第一节 眼睛与视觉.....118	第四节 采光计算.....153
第二节 基本光度单位及应用.....122	第九章 建筑照明.....161
第三节 材料的光学性质.....129	第一节 人工光源.....161
第八章 天然采光.....134	第二节 灯具.....170
第一节 光气候和采光标准.....134	第三节 室内工作照明.....175
第二节 采光口.....138	第四节 室内环境照明设计.....190

第三篇 建筑声学

第十章 建筑声学基本知识.....205	第十二章 吸声材料和吸声结构.....232
第一节 声音的产生与传播.....205	第一节 吸声材料与吸声结构的 作用和分类.....232
第二节 声音的计量与人的听觉特性.....211	第二节 多孔吸声材料.....233
第十一章 室内声学原理.....222	第三节 空腔共振吸声结构.....235
第一节 声波在室内的反射与 几何声学.....222	第四节 薄膜、薄板吸声结构.....238
第二节 室内声音的增长、稳态和 衰减.....223	第五节 其它吸声结构.....239
第三节 混响和混响时间计算公式.....224	第十三章 室内音质设计.....243
第四节 室内声压级计算.....228	第一节 音质评价标准.....243
第五节 房间的共振和共振频率.....229	第二节 房间容积的确定.....247
	第三节 房间的体型设计.....248

第四节	房间的混响设计	254	第二节	撞击声的隔绝	298
第五节	室内的电声系统	257	参考书目	302	
第六节	各类建筑的声学设计	259	附录	303	
第十四章	噪声控制	266	附录 1	建筑材料的热工指标	303
第一节	噪声的危害	266	附录 2	标准大气压时不同温度下的饱和 水蒸汽分压力 P_s 值	305
第二节	噪声的允许标准	267	附录 3	棒影日照图	306
第三节	噪声控制的原则与方法	269	附录 4	灯具光度数据示例	309
第四节	建筑中的吸声减噪	271	附录 5	灯具利用系数	311
第五节	气流噪声控制——消声器 设计	273	附录 6	材料的吸声系数和吸声 单位	317
第六节	城市噪声的控制	277	附录 7	各种构件的隔声特性	318
第十五章	建筑隔声	283	附录 8	楼板的标准撞击声级	320
第一节	空气声的隔绝	283			

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。属于室外的气候因素如太阳辐射、空气的温湿度、风、雨雪等，一般统称为“室外热湿作用”；属于室内的如空气温湿度、生产和生活散发的热量与水分等，则称为“室内热湿作用”。

室内外热湿作用是建筑工程设计的重要依据，它不仅直接影响室内气候状况，也在一定程度上影响建筑物的耐久性。

建筑热工学^①的任务是介绍建筑热工原理，论述如何通过建筑规划和设计上的相应措施，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、防热、防潮、节能等问题，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。为了获得合乎标准的室内气候，往往需要配备适当的设备，进行人工调节。如在寒冷地区设置采暖设备，在炎热地区采用空调设备等等。采用现代空调设备，当然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，才能做出技术上和经济上都合理的设计。

围护结构传热、传湿的基本原理和计算方法是建筑热力学的中心内容。但是，仅仅掌握这些原理和方法还是不够的，还必须了解材料的热物理性能，重视构造处理的技能，才能正确解决实际的设计任务。

本篇内容着重在一般工业与民用建筑的热工设计，对于某些特殊用途的房间（如高湿、恒温恒湿房间等）的热工设计，除须应用本篇所述的知识以外，还得参阅有关的专著和文献。

第一章 建筑热工学基本知识

第一节 室内气候

一、影响室内气候的因素

室内气候指的是由空气温湿度、气流以及壁面的辐射热等综合组成的一种室内环境（亦称室内热环境），它是建筑环境科学重要的研究对象之一。各种室内气候因素的不同

① 建筑热工学在日本等国家叫《建筑热环境工学》。

组合，形成不同的室内气候。我们所希望的室内气候，当然应该是在热湿效果方面适合人民生活、工作和生产需要的。

影响室内气候的因素有：室内外热湿作用，建筑规划与设计，材料性能及构造方法，设备措施等等。

室外热湿作用对室内气候的影响是人所共知的，特别是在寒冷或炎热地区，其影响更为明显。一定的室外热湿作用对室内气候影响的程度和过程，主要地取决于围护结构材料的热物理性质（传热、传湿、透气……）及构造方法。如果围护结构抵抗热湿作用的性能良好，室外热湿作用对室内的影响就比较小。但必须指出，房屋的朝向、间距，环境绿化以至单体建筑的平剖面形式，都对室内气候有不同程度的影响。如果这一系列问题未能很好综合处理，即使围护结构热工性能良好，也难以实现所需的室内气候。

房间内部热湿散发量的多少及其分布状况，在某些建筑中也可能成为决定室内气候的主要因素。例如冶炼、铸造、热轧等车间，由于生产中大量散发热量，因而尽管采取建筑和设备上的一系列措施，车间内的温度仍然是很高的。相反，一般民用建筑和冷加工车间，则只有人体及生活、生产设备散发的为数不多的热量和水分，其室内气候主要决定于室外热湿作用。对于内部热湿作用严重的房间，主要是如何迅速排除余热和多余的水分；

对内部热湿产量不大的房间，则主要是防止室外热湿作用对室内气候的不利影响。

二、对室内气候的要求

对室内气候的要求取决于房间的使用性质。以满足生产工艺和科学实验要求为主的房间，其室内气候标准在相应的规范或文献中都有具体的规定，这里不加论述。以满足人体生理卫生需要为主的房间（如居住、公共和一般生产房间），其室内气候主要是保证人的正常生活和工作，以维护人体的健康。

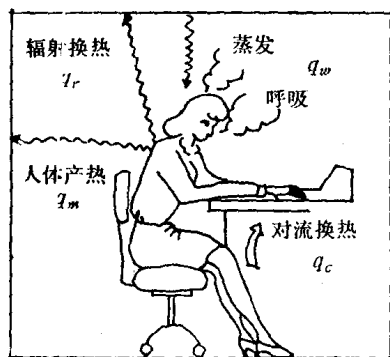


图 1-1 人体与环境之间的热交换

室内气候对人体的影响主要表现在冷热感。冷热感取决于人体新陈代谢产生的热量（以后简称人体产热量）和人体向周围环境散热量之间的平衡关系，这种关系可用图 1-1 及式（1-1）表示。

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

式中 q_m ——人体产热量；

q_w ——人体蒸发散热量；

q_r ——人体辐射换热量；

q_c ——人体对流换热量；

Δq ——人体得失的热量；

$\Delta q = 0$ 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，每小时的产热量约为 $95 \sim 115 \text{ W} \cdot \text{h}$ ，当他从事重体力劳动时，每小时产热量可达 $580 \sim 700$

W·h。

在人体尚未出汗时，蒸发散热量 q_w 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_w 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、天花板、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%，辐射散热约为45~50%，呼吸和无感觉蒸发散热约占25~30%。处于舒适状况的热平衡，可称之为“正常热平衡”。

当劳动强度或室内气候发生变化时，本来是正常的热平衡就可能被破坏，但并不致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_w 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 仍然等于零，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过冷环境，也不可能无限制地借蒸发汗液来适应过热环境。当室内气候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。

综合上述分析，可见室内气候大致可分为舒适的、可以忍受的和不能忍受的三种情况。显然，只有采用充分空调设备的房间，才能实现舒适的室内气候。然而对于大量性建筑来说，按舒适要求来规定室内气候标准是不恰当的。因为在所有房间中都采用完善的空调设备，不仅在经济上是不现实的，而且从生理上说，人们长期处于几乎是稳定的室内气候下，也会降低人体对气候变化的适应能力，不利于健康。

近年来，随着空调技术的发展，一些发达国家在办公楼、住宅、旅馆、医院等民用建筑中，广泛采用高气密化的空调房间。其结果，不但浪费了大量能源，还出现了“空调症”，已引起卫生保健专家和建筑师的注意。

综上所述，不论从卫生保健或从经济方面考虑，室内气候都不应搞成“绝对舒适”的。我们所说的舒适的室内气候环境，是构成室内气候四要素的空气温度、湿度、气流速

度和热辐射的某一组合。这种组合是一个范围，而不是唯一的。

必须指出，随着我国人民生活水平的提高，采暖、通风及空调设备终将进入居民家庭并逐步普及。即使到了那种时候，仍不能把房间搞成完全的“人工空间”。

至于现实技术条件还无法解决的那些不能忍受的室内气候（如高温作业），则只好通过加强工作人员的个体防护以及制订特殊的工作、休息制度来解决。

三、室内气候的评价方法

室内气候标准是建筑热工设计的重要依据。举例来说，我国目前规定寒冷地区居住房间冬季的室内气候标准是气温 $16\sim 18^{\circ}\text{C}$ ，这一标准用起来很方便，对大多数采暖房间来说也是适用的。但对于以传统的火墙采暖或现代化辐射采暖的房间来说，就不适用了。为了弄清这里的道理，就得对如何评价室内气候有所了解。

自本世纪初以来，不少学者从事于室内气候评价方法的研究，并根据各种不同的评价方法，先后提出了一系列评价指标，如有效温度（ET）、作用温度（OT）、热应力指标（H.S.I.）、预计热指标（PMV）等。

应当看到，由于室内气候与人体的主观感受和生理反应之间的关系是十分复杂的，而每个研究者都只能在有限条件下，以少数受试者进行试验研究，从而各种指标都难免有很大的局限性。鉴于详细介绍各种评价方法、指标并非本教程的任务，因此，下面仅简要介绍几种方法。

1. 有效温度

有效温度是 Houghton 和 Yaglou 等人于1923年提出的。它是表征气温、湿度及气流速度三者对人体综合作用的一种主观评价指标，在欧美曾被广泛应用。但因其试验方法不够合理，又未考虑热辐射的影响，所以 Gagge 等人又提出了所谓“新有效温度”并用 ET^* 表示（1971）。从1972年起， ET^* 被ASHRAE正式采用至今。

由于衣着和劳动强度对人体热舒适感有重大影响，所以 ET^* 有不同情况。图1-2是穿着热阻为 0.6clo ①衣服，处于静坐状态的人适用的 ET^* 图。

2. 预计热指标

丹麦学者房格尔（P.O.Fanger）提出的预计热指标PMV②，是迄今为止考虑人体热舒适感诸多有关因素最全面的评价指标。它既包括了主要的室内气候因素，也包括了劳动强度及衣着条件等。房格尔提出

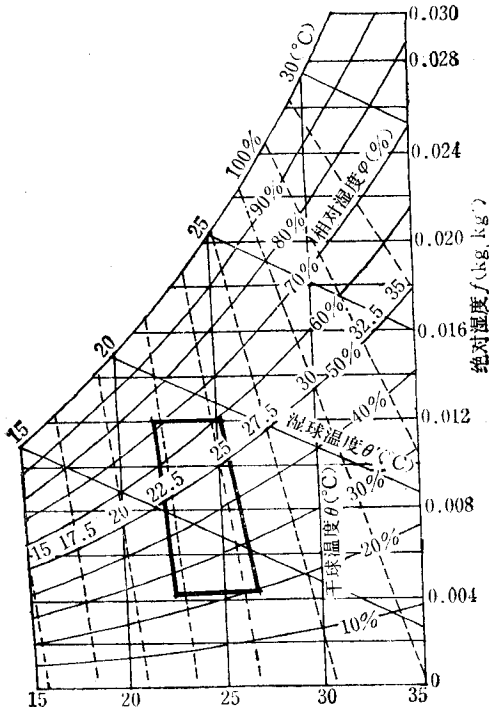


图 1-2 不同室内气候的 ET^*

① clo是衣服热阻的单位， $1\text{clo}=0.15\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ 。
② PMV原文为Predicted Mean Vote，本意为预计所发出的调查卡片之答复均值。本书用预计热指标表示这一评价指标。

了经大量试验得出的各PMV值所对应的冷 热 感 如下:

- 3(cold)	寒冷
- 2(cool)	凉
- 1(slightly cool)	稍凉
0(neutral comfort)	热舒适
+ 1(slightly warm)	稍暖
+ 2(warm)	暖
+ 3(hot)	热

为了以PMV值具体评价室内气候, 丹麦的B&K公司根据房格尔的热舒适方程, 研制出热舒适测定仪(thermal comfort meter), 并有1212型产品正式用于热舒适的测定。只要设定人的劳动强度和衣服热阻, 该仪器就能立即以数字显示出与室内气候对应的PMV值。

第二节 传热的基础知识

一、传热的基本方式

传热指的是包括各种形式热能转移现象的总称。根据传热机理的不同, 传热的基本方式分为导热、对流和辐射三种。

导热是由温度不同的质点(分子、原子、自由电子), 在热运动中引起的热能传递过程。在固体、液体和气体中均能产生导热现象, 但在不同物质中导热的机理是有区别的。在气体中是通过分子无规则运动时互相碰撞而导热, 在液体中是通过平衡位置间歇移动着的分子振动引起的, 在固体中一般是由平衡位置不变的质点振动引起的。金属则有其特点, 它主要是由自由电子作热运动时而导热。在建筑热工学中, 大量的课题是涉及非金属材料材料的导热, 当然有时也涉及空气、水分或金属的导热问题。

对流传热只发生在流体之中, 它是因温度不同的各部分流体之间发生相对运动, 互相掺合而传递热能的。促使流体产生对流的原因有二: 一是本来温度相同的流体, 因其中某一部分受热(或冷却) 而产生温度差, 形成对流运动, 这种对流叫“自然对流”; 二是因受外力作用(如风吹、泵压等), 迫使流体产生对流, 这叫作“受迫对流”。自然对流的程度主要决定于流体各部分之间的温度差, 温差愈大则对流愈强。受迫对流取决于外力的大小, 外力愈大, 则对流愈强。

辐射传热与导热和对流有本质的区别, 它是以电磁波传递热能的。凡温度高于绝对零度(0K) 的物体、都能发射辐射热。辐射传热的特点是发射体的热能变为电磁波辐射能, 被辐射体又将所接受的辐射能转换成热能。太阳辐射能经过宇宙空间到达地球大气层上界(即外边界) 时的光谱示于图1-3。太阳辐射中, 能够转化为热能的主要是可见光和红外线。

如图1-4所示, 当热辐射能入射到一物体表面时, 其一部分被反射, 一部分被吸收, 在有些情况下, 还可能有一部分透过物体从另一侧传出去(如窗玻璃)。

被反射、吸收和透射的辐射能分别以 I_r 、 I_a 、 I_τ 表示; 它们与入射辐射 I_0 的比值分别叫作物体对辐射热的反射系数 r_h , 吸收系数 ρ_h , 透射系数 τ_h , 即

$$\gamma_h = \frac{I_r}{I_0}; \quad \rho_h = \frac{I_r}{I_0}; \quad \tau_h = \frac{I_t}{I_0}$$

由于 $I_0 = I_r + I_a + I_t$, 故

$$r_h + \rho_h + \tau_h = 1$$

(1-2)

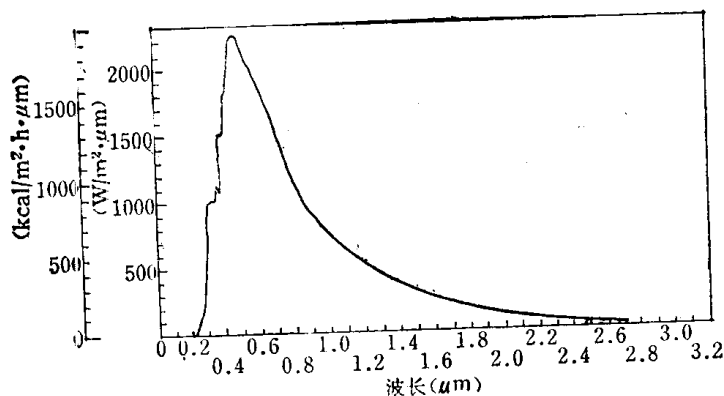


图 1-3 大气层上界的太阳辐射光谱

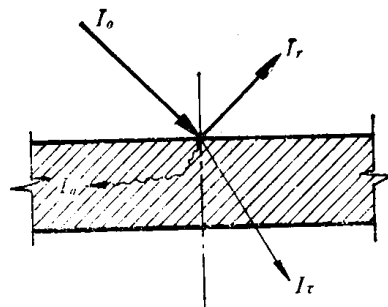


图 1-4 辐射热的反射、吸收与透射

严格地说, 物体对不同波长的外来辐射的吸收、反射性能是不同的。凡能将外来辐射全部反射的物体 ($r_h = 1$) 叫作完全白体 (简称白体), 凡能全部吸收的 ($\rho_h = 1$) 叫作绝对黑体 (简称黑体), 能全部透过的 ($\tau_h = 1$) 则称为完全透热体或热的透明体。

在自然界中, 没有理论上所定义的黑体、白体或完全透热体。但在应用科学中, 把吸收系数接近于 1 的物体 (如开口很小的球形空腔), 近似地当作黑体, 则不仅使计算大大简化, 且能达到工程所要求的精确度。

黑体不但能将一切波长的外来辐射热完全吸收, 也能向外发射一切波长的热辐射, 只是不同波长的单色辐射本领不同而已。绝大多数物体都只能吸收和发射某些波长的热射线, 且其单色辐射本领 E_λ 总小于同温度同波长的黑体单色辐射本领 $E_{\lambda b}$, 这种物体一般叫“选择性辐射体”。还有一些物体, 其辐射光谱具有与黑体光谱相似的形状, 且其每一波长的辐射本领 E_λ 与同温度同波长黑体的 $E_{\lambda b}$ 的比值为一常数, 这种物体称为“灰体”。大多数建筑材料都可近似地看作灰体。

不同物体的辐射光谱示于图1-5, 由图可见, 在相同温度的一切物体中, 黑体的辐射能力最大。根据斯蒂芬-波尔兹曼定律, 黑体的全辐射本领 E_b 与其绝对温度的四次幂成正比, 即

$$E_b = \sigma_b T_b^4 = C_b \left(\frac{T_b}{100} \right)^4 \text{ W/m}^2 \quad (1-3)$$

式中 σ_b ——黑体的辐射常数, $\sigma_b = 5.68 \times 10^{-8}$, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$;

T_b ——黑体的绝对温度, $T_b = 273 + t$, K ;

C_b ——黑体的辐射系数, $C_b = 5.68$, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ 。

由于灰体的辐射光谱形状与黑体的相似, 且二者的单色辐射本领的比值为常数, 故灰体的全辐射本领 E 也可按斯蒂芬-波尔兹曼定律来计算,

$$E = C \left(\frac{T}{100} \right)^4 \text{ W/m}^2 \quad (1-4)$$

式中 C ——灰体的辐射系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$;

T ——灰体的绝对温度, K 。

所谓全辐射本领乃是物体的一种发射辐射能的特性, 所以也叫全发射本领, 它表示物体单位表面积在单位时间内, 以波长 $\lambda = 0 \sim \infty$ 的全波段向半球空间辐射的全部热量。由于建筑热工学中用得最多的是全辐射本领, 很少涉及单位波长的辐射本领——单色辐射本领, 因此为简化起见, 今后凡提到辐射本领时, 均指全辐射本领。

物体的辐射系数表征物体向外发射辐射能的能力, 在本质上它仅与物体表层的性质(光洁度、化学性质、颜色等)有关。灰体的辐射系数 C 与黑体辐射系数 C_b 的比值是一常数, 即

$$\frac{C}{C_b} = \varepsilon \quad (1-5)$$

ε 叫物体的“发射率”或“黑度”, 它表示物体的相对辐射能力, 黑体的辐射本领最大, 其黑度 $\varepsilon_b = 1$, 其它所有物体的黑度都小于 1。

同一物体, 在不同温度下的辐射本领也是不同的, 温度越高, 辐射本领越大。图 1-6 所示为同一黑体在不同温度时的辐射光谱。

由图可见, 当温度升高时, 不仅黑体的辐射本领(曲线下的面积)变大, 而且短波辐射所占的比例越大, 最大单色辐射本领越向短波方向移动。太阳表面温度约为 6000K , 其热辐射能的 52% 左右集中在 $0.397 \sim 0.770\mu\text{m}$ (可见光) 的短波范围, 而红外线则占 48% 左右。一般放热器和围护结构的表面温度都很低, 所以只能以远红外线发射辐射热。

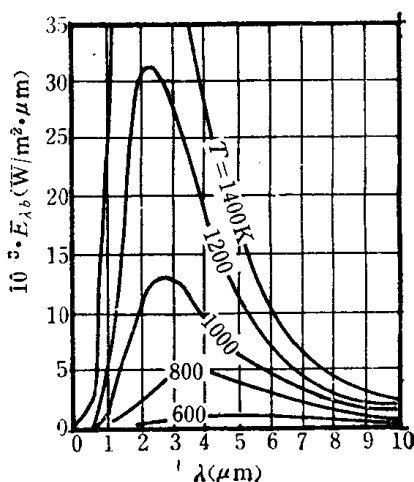


图 1-6 不同温度黑体的辐射光谱

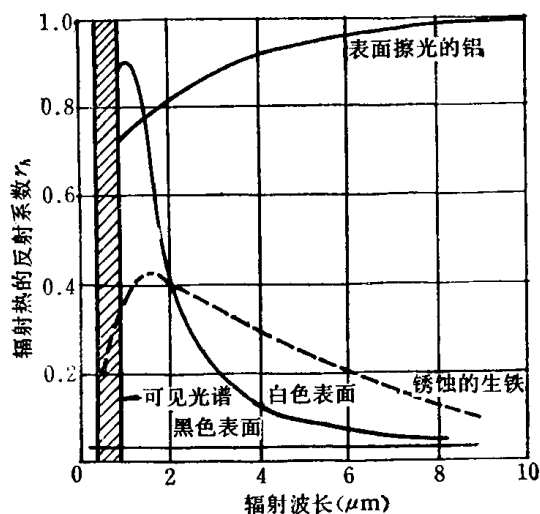


图 1-7 表面对辐射热的反射系数

物体对不同波长的外来辐射的反射能力也是不同的。图 1-7 给出的是几种表面对不同波长热辐射的反射系数。

① μm ——微米, $1\mu\text{m} = 1 \times 10^{-6}\text{米}$ 。

由图可见，白色表面对可见光的反射能力最强，对于长波热辐射，其反射能力则与黑色表面相差极小。至于磨光的表面，则不论其颜色如何，对长波辐射的反射能力都是很强的。

窗玻璃与一般围护结构不同，太阳辐射热的绝大部分都能透过普通玻璃，而低温的长波辐射则很少能透过。因此，用普通窗玻璃的温室，白天能引进大量的太阳辐射热，而夜间则能阻止室内的长波辐射向外透射。当然，改变玻璃的化学成分（例如掺入含铁的化合物），也会使玻璃对太阳辐射热的吸收系数变大，透射系数降低，这就是所谓吸热玻璃。

根据克希荷夫定律，在一定温度下，物体对辐射热的吸收系数 ρ_s 在数值上与其黑度 ϵ 是相等的。这就是说，材料辐射能力愈大，它对外来辐射的吸收能力愈大；反之，若辐射能力愈小，则吸收能力也愈小。

值得注意的是，围护结构对太阳辐射热的吸收系数 ρ_s 并不等于其黑度，这是因为太阳辐射主要是短波的，而围护结构表面的黑度是发射长波热辐射的物理参数。为说明这种差别，在表1-1中列举了若干材料的 ϵ 、 C 、 ρ_s 值供参考。

材 料 的 ϵ 、 C 及 ρ_s 值

表 1-1

序 号	材 料	$\epsilon(10 \sim 40^\circ\text{C})$	$C = \epsilon C_0$	ρ_s
1	黑 体	1.00	5.68	1.00
2	开在大空腔上的小孔	0.97~0.99	5.50~5.62	0.97~0.99
3	黑色非金属表面(如沥青、纸等)	0.90~0.98	5.11~5.50	0.85~0.98
4	红砖、红瓦、混凝土、深色油漆	0.85~0.95	4.83~5.40	0.65~0.80
5	黄色的砖、石、耐火砖等	0.85~0.95	4.83~5.40	0.50~0.70
6	白色或淡奶油色砖、油漆、粉刷、涂料	0.85~0.95	4.83~5.40	0.30~0.50
7	窗 玻 璃	0.90~0.95	5.11~5.40	大部分透过
8	光亮的铝粉漆	0.40~0.60	2.27~3.41	0.30~0.50
9	铜、铝、镀锌铁皮、研磨铁板	0.20~0.30	1.14~1.70	0.40~0.65
10	研磨的黄铜、铜	0.02~0.05	0.11~0.28	0.30~0.50
11	磨光的铝、镀锡铁皮、镀铬板	0.02~0.04	0.11~0.23	0.10~0.40

二、围护结构的传热过程

房屋围护结构时刻受到室内外的热作用，不断有热量通过围护结构传进或传出。在冬

季，室内温度高于室外温度，热量由室内传向室外；在夏季则正好相反，热量主要由室外传向室内。通过围护结构的传热要经过三个过程(图1-8)：

表面吸热——内表面从室内吸热（冬季），或外表面从室外空间吸热（夏季）；

结构本身传热——热量由高温表面传向低温表面；

表面放热——外表面向室外空间散发热量（冬季），或内表面向室内散热（夏季）。

严格地说，每一传热过程都是三种基本传热方式的综合过程。吸热和放热的机理是相同的，故一般总称为“表面热转移”。在表面热转

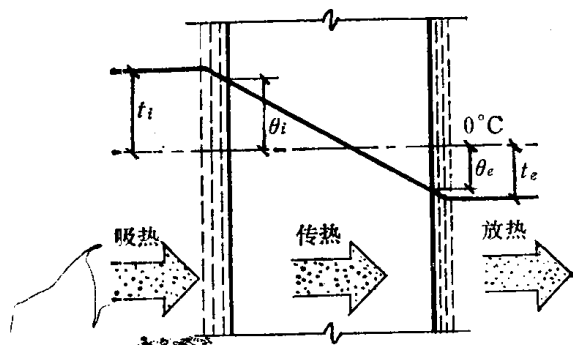


图 1-8 围护结构的传热过程

移过程中，既有表面与附近空气之间的对流与导热，又有表面与周围其它表面间的辐射传热。

在结构本身的传热过程中，实体材料层以导热为主，空气层一般以辐射传热为主。当然，即使是实体结构，也因大多数建筑材料都含有或多或少的孔隙，而孔隙中的传热则又包括三种基本传热方式，特别是那些孔隙很多的轻质材料，孔隙传热的影响是很大的。了解围护结构的传热过程，对学习建筑热工设计技术是很重要的，下面就本专业所需的范围分别对各传热过程作简要的介绍。

(一) 表面热转移

表面热转移过程中的对流与导热是很难分开研究的，一般都只能将二者的综合效果放在一起考虑。为了与单纯的对流传热相区别，本教程中将这种同时考虑对流与导热综合效果的传热，专门叫作“对流换热”。这样一来，表面热转移就可分为对流换热与辐射换热两部分来研究。

1. 对流换热。当空气沿壁面流动时，如果气温与表面温度不等，就会产生热交换。对流传热量与温差、气流状况（速度、方向）以及表面状况（粗糙程度）等因素有关。当温差一定时，某一表面与空气间的对流传热量主要取决于空气“边界层”的状况。边界层指的是处于由壁面到气温恒定区之间的区域，如图1-9所示。在一般情况下，边界层是由层流区、过渡区、紊流区三个分区组成的。紧靠表面而且最薄的A—B部分是层流边界层，紧接气温恒定区的C—D部分是紊流区，介于层流和紊流二区之间的B—C部分是过渡区。

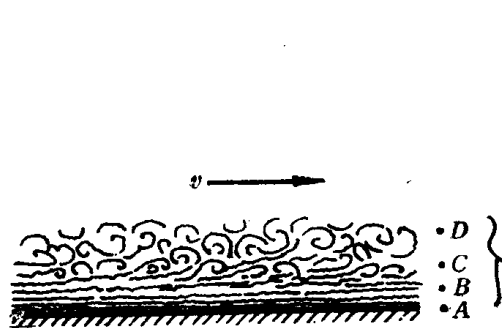


图 1-9 壁表面附近气流状况示意

A—B：层流边界层；B—C：过渡区；C—D：紊流区

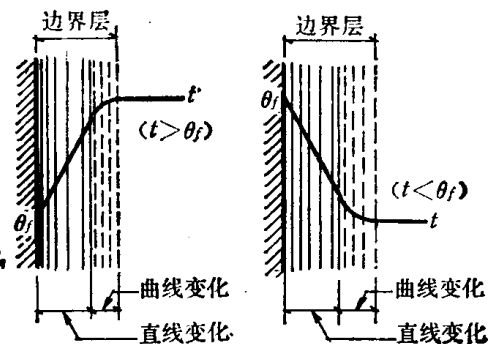


图 1-10 边界层温度分布

在层流边界层内是以空气导热来传递热量的，层内的温度分布是直线的（图1-10）。在其余两层，温度分布可近似地看作抛物线。在远离壁面处的各点气温，可近似地当作均匀一致，所以温度分布是一条水平线。

从图1-10可以看出，在层流边界层内，温度变化较大，可见该层对热交换的影响最大。对流换热过程所交换的热量与空气和壁面间的温差成正比，即

$$q_c = \alpha_c (\theta - t) \quad \text{W/m}^2 \quad (1-6)$$

式中 q_c ——对流传热强度， W/m^2 ；

α_c ——对流换热系数， $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ；

θ ——壁面温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

t ——气温恒定区的空气温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

α_c 不是一个固定不变的常数，而是一个取决于一系列因素而又十分复杂的物理量。为