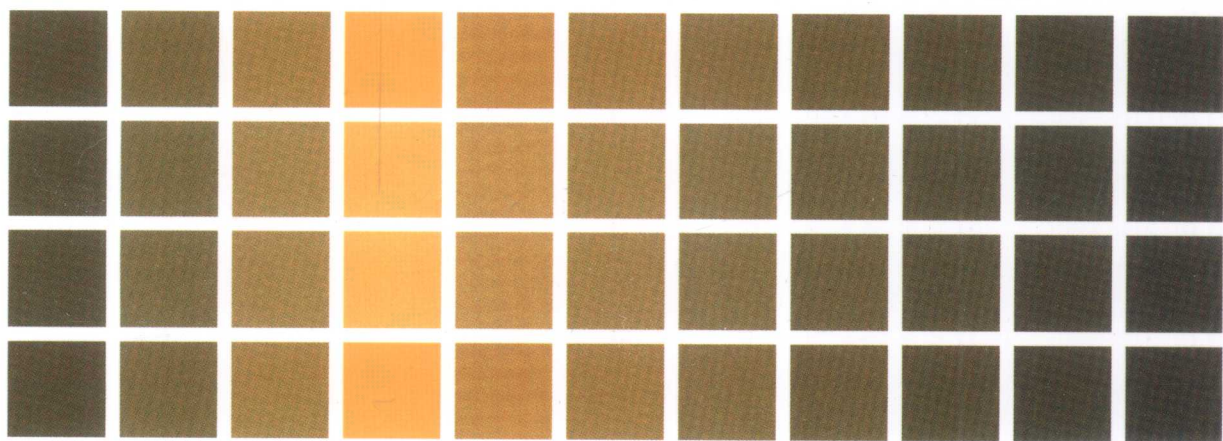


国外土木建筑工程系列

建筑环境工程学

——热环境与空气环境



[日] 宇田川光弘 近藤靖史 秋元孝之 长井达夫 著
陶新中 译
董新生 校

中国建筑工业出版社

国外

建筑环境工程学

——热环境与空气环境

[日] 宇田川光弘 近藤靖史 秋元孝之 长井达夫 著
陶新中 译
董新生 校

中国建筑工业出版社

著作权合同登记图字：01-2015-0920 号

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑环境工程学——热环境与空气环境 / (日) 宇田川光弘等著; 陶新中译. —北京: 中国建筑工业出版社, 2016.9

(国外土木建筑工程系列)

ISBN 978-7-112-19775-0

I. ①建… II. ①宇…②陶… III. ①建筑工程—环境工程学 IV. ①TU-023

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 213583 号

Kenchiku Kankyou Kougaku - Netsukankyou To Kukikankyou

Copyright © 2009 by MITSUHIRO UDAGAWA, YASUSHI KONDO, TAKASHI AKIMOTO, TATSUO NAGAI,

All rights reserved.

First original Japanese edition published by Asakura Publishing Co., Ltd.

Chinese (in simplified character only) translation rights arranged with Asakura Publishing Co., Ltd., Japan.
through CREEK & RIVER Co., Ltd. and CREEK & RIVER SHANGHAI Co., Ltd.

Translation copyright ©2016 China Architecture & Building Press

本书由日本株式会社朝仓书店授权我社翻译出版

责任编辑: 白玉美 率 琦

责任校对: 李欣慰 姜小莲

国外土木建筑工程系列

建筑环境工程学——热环境与空气环境

[日] 宇田川光弘 近藤靖史 秋元孝之 长井达夫 著

陶新中 译

董新生 校

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京嘉泰利德公司制版

北京市密东印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 11 字数: 252 千字

2016 年 11 月第一版 2016 年 11 月第一次印刷

定价: 38.00 元

ISBN 978-7-112-19775-0

(26734)

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

本书是一本专业教科书。我们在编撰该书时，对建筑环境工程学的基础知识及其应用，由浅入深地进行了论述。建筑环境工程学是一门以尽可能少的能源实现健康、安全的环境为目的所提出的一种基础理论，可以应用于建筑设计、设备设计。当今，从地球环境到室内环境，建筑的所有标准都与环境有着密不可分的关系。今后，建筑环境工程学还将会起到更为重要的作用。

环境工程学涉及的领域很广，若按物理现象进行分类，可分为热、大气、光、声。因此，建筑环境工程学的教科书大多也按上述分类被分为4个领域。不过，因各个领域的基本原理不同，所以要想学习全部内容就需要花费一定的时间。另外，即便是只学习基础部分，仅从建筑所规定的专门领域中掌握理论知识是远远不够的，还应学习如何将其运用于实际的建筑设计及设备设计中。为此，本书特提出与建筑室内环境性能及能源性能关系极为密切的热环境和空气环境两大领域，以通俗易懂的语言从基础到应用进行论述，各章按照（A）基础知识内容；（B）前半部分为基础知识内容、后半部分为应用内容；（C）应用内容进行分类，共由16章组成。

章节	题目	分类	章节	题目	分类
1	建筑与环境	A	9	热传导模拟	C
2	气象与气候	A	10	室温与热负荷	B
3	日照与太阳辐射	B	11	湿空气	A
4	室内温热环境	B	12	室内湿度调节与蒸发冷却	B
5	室内空气环境	A	13	结露与防止结露	B
6	环境的计量与测量	C	14	换气·通风的基础理论	A
7	传热的基础理论	A	15	机械换气计划	B
8	建筑物外表面的传热	B	16	室内空气浓度等的时间变化与空间分布	C

例如，如果是建筑专业知识中热环境、空气环境的初学者，可将（A）和（B）中基础部分的章节作为学习的重点；而对于那些欲将环境工程学的理论用于规划设计的专业课、研究室的研讨会、毕业设计乃至研究生院等有一定基础知识的读者来说，则应将学习的重点放在（B）及（C）中各章的应用部分。

本书以简洁易懂的方式列出例题的计算过程，希望能通过例题和练习有助于读者对知识的理解。这样，利用附录中的“Visutal Basic 函数”和 Microsoft Excel 中的表计算软件，只要准备一台个人电脑就可以进行实际的操作练习。另外，通过注释中对相关用语的解读及短评栏（COLUMN）可以帮助读者理解，所以本书不仅是授课时所用的教科书，而且还可以对从事实务的建筑师、技术人员知识进行检验。倘若本书能够加深读者对建筑环境工程学的热环境、空气环境的理解，对完成一个健康、舒适节能高效的建筑有一定的作用，将感到十分荣幸。

最后，对那些在本书的策划，以及编辑上给予大力支持与帮助的朝仓书店的诸位同仁们表示深深的谢意。

作者代表：宇田川光弘

2009年4月

本书中所用的主要符号（国际单位制的基本单位）

量的名称	符号	单位符号	单位名称	备注
时间	t	s	秒	1小时(h)=3600s, 1分(min)=60s
长度	L, d, l	m	米	
面积	A	m ²	平方米	
体积, 容积	V	m ³	立方米	
质量	m	kg	千克	在工程学单位中, 为kgf, 1kgf=9.8N
密度	ρ	kg/m ³		在工程学单位中, 为比重 γ [kgf/m ³]
重力加速度	g	m/s ²		$g=9.8\text{ m/s}^2$
力	P	N	牛顿	$\text{N}=\text{kg}\cdot\text{m/s}^2$
压力	p	Pa	帕(斯卡)	$1\text{ kgf/m}^2=1\text{ mmAq}=9.8\text{ Pa}$
速度	v	m/s		
流量(重量)	G	kg/s		
流量(容积)	Q	m ³ /s		
绝对温度	T	K	开(尔文)	$T=\theta+273.16$
温度	θ	°C	摄氏(celsius)	
温度差	$\Delta\theta$	K(°C)		
相对湿度	φ	%		
绝对湿度	x	kg/kg(DA)		也有使用kg/kg'的
水汽压	f	Pa		
比焓(比热焓)	h	kJ/kg		
水的蒸发潜热	r	kJ/kg		
能(量), 功, 热量	Q, W	J	焦(耳)	$\text{J}=\text{W}\cdot\text{s}, 3600\text{ J}=1\text{ W}\cdot\text{h}, 1\text{ kcal}=4.186\text{ kJ}$ $1\text{ kcal}/(\text{kgf}\cdot^\circ\text{C})=4.186\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
比热	c	J/kgK		
热容量	C	J/K		
功率, 辐(射)能通量	L, E	W	瓦(特)	$\text{W}=\text{J/s}$
热流	H	W	瓦(特)	$1\text{ kcal/h}=1.163\text{ W}, 1\text{ kW}=860\text{ kcal/h}$
热流(单位面积)	q	W/m ²		$1\text{ kcal}/(\text{m}^2\cdot\text{h})=1.163\text{ W/m}^2$
导热系数(传导)	λ	W/(m·K)		$1\text{ kcal}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})=1.163\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
传热系数(对流辐射)	α	W/(m ² ·K)		$1\text{ kcal}/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})=1.163\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
传热系数(总)	K	W/(m ² ·K)		$1\text{ kcal}/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})=1.163\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
传热系数(中空)	C	W/(m ² ·K)		$1\text{ kcal}/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})=1.163\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
传热阻	r, R	m ² ·K/W		$1\text{ m}^2\text{ h}\cdot^\circ\text{C}/\text{kcal}=0.86\text{ m}^2\text{ K/W}$
太阳辐射量	I	W/m ²		$\text{kcal}/(\text{m}^2\cdot\text{h}), \text{cal}/(\text{cm}^2\cdot\text{min})$
传湿系数(总)	K'	kg/(m ² ·s(kg/kg(DA)))		
传湿系数(对流)	α'	kg/(m ² ·s(kg/kg(DA)))		
导湿系数(传导)	λ'	kg/(m·s(kg/kg(DA)))		
换气量	Q	m ³ /s, m ³ /h		也有使用CMH(=m ³ /h)的
浓度	C	m ³ /m ³ (气体状物质), kg/m ³ (粉尘)		也有使用ppm的

SI 单位制词头

词头符号 / 词头名称	代表的因数	词头符号 / 词头名称	代表的因数
E[exa] 艾(可萨)	10 ¹⁸	d[(deci) 分]	10 ⁻¹
P[beta] 拍(它)	10 ¹⁵	c[(centi) 厘]	10 ⁻²
T[tera] 太(拉)	10 ¹²	m[(milli) 毫]	10 ⁻³
G[gear] 千兆 / 吉(咖)	10 ⁹	μ [(micro) 微]	10 ⁻⁶
M[mega] 兆	10 ⁶	n[(nano) 毫微 / 纳(诺)]	10 ⁻⁹
k[kilogram] 千	10 ³	P[(pico-) 微微 / 皮(可)]	10 ⁻¹²
h[hecto] 百	10 ²	例如: (1) 16PJ=16×10 ⁶ J =16×10 ¹⁵ J	
da[(deka) 十]	10	(2) 0.8GJ=800MJ =8×10 ⁸ J	

希腊字母一览表

大写字母	小写字母	读法	大写字母	小写字母	读法	大写字母	小写字母	读法
A	α	alpha	I	ι	Iota	P	ρ	Rho
B	β	beta	K	κ	Kappa	Σ	σ	Sima
Γ	γ	gamma	Λ	λ	Lambda	T	τ	Tau
Δ	δ	delta	M	μ	Mu	Υ	υ	Upsilon
E	ϵ	epsilon	N	ν	Nu	Φ	ϕ, φ	Pho
Z	ζ	Zeta	Ξ	ξ	Xi	χ	χ	Chi
H	η	Etheta	O	o	Omicron	Ψ	ψ	Psi
Θ	θ	theta	Π	π	Pi	Ω	ω	Omega

目 录

1. 建筑与环境 1

宇田川光弘

- | | | | |
|-------------------|---|-------------|---|
| 1.1 建筑与人工环境 | 1 | 1.3 建筑环境与能源 | 3 |
| 1.2 环境工程学与室内环境的控制 | 2 | 1.4 单位与基本量 | 4 |

2. 气象与气候 6

长井达夫

- | | | | |
|-------------|----|--------------------|----|
| 2.1 气象要素 | 6 | 2.2 世界的气候与建筑 | 11 |
| 2.1.1 气温 | 6 | 2.2.1 气候划分 | 11 |
| 2.1.2 湿度 | 8 | 2.2.2 掌握气象图反映的气候特性 | 12 |
| 2.1.3 太阳辐射量 | 8 | 2.2.3 气候与民居建筑 | 12 |
| 2.1.4 有效辐射 | 9 | 2.3 城市气候 | 13 |
| 2.1.5 风 | 9 | 2.3.1 城市热岛 | 13 |
| 2.1.6 降水量 | 10 | 2.3.2 城市与风环境 | 15 |

3. 日照与太阳辐射 18

宇田川光弘

- | | | | |
|------------------|----|----------------------|----|
| 3.1 日照与太阳辐射的基本性质 | 18 | 3.3.2 建筑物的配置与日影 | 25 |
| 3.1.1 太阳与地球 | 18 | 3.3.3 邻栋建筑物间距与阳光曲线 | 26 |
| 3.1.2 太阳辐射的波长分布 | 19 | 3.4 太阳辐射量 | 27 |
| 3.2 太阳的位置 | 20 | 3.4.1 晴天太阳辐射量的计算 | 27 |
| 3.2.1 太阳位置的计算 | 20 | 3.4.2 建筑物外表面的太阳辐射 | 28 |
| 3.2.2 太阳位置图 | 23 | 3.4.3 按方位划分的太阳辐射量的计算 | 29 |
| 3.3 日照与建筑物的配置 | 24 | 3.5 太阳辐射观测值的利用 | 31 |
| 3.3.1 日影的变化 | 24 | | |

4. 室内温热环境 34

秋元孝之

- | | | | |
|---------------------------|----|----------------------|----|
| 4.1 室温与温热感 | 34 | 4.2.3 预测平均统计值 PMV | 37 |
| 4.1.1 人体的热平衡 | 34 | 4.2.4 新有效温度 ET* | 38 |
| 4.1.2 能量代谢 | 35 | 4.3 局部不舒适 | 39 |
| 4.1.3 着衣量 | 35 | 4.3.1 热辐射不均衡 | 39 |
| 4.1.4 空气温度 | 36 | 4.3.2 气流(令人感到不舒适的气流) | 39 |
| 4.1.5 热辐射温度 | 36 | 4.3.3 上下温度的分布 | 40 |
| 4.1.6 气流速度 (air velocity) | 36 | 4.3.4 地板表面的温度 | 40 |
| 4.1.7 湿度 | 36 | 4.3.5 环境适应型模型 | 41 |
| 4.2 温热环境指标 | 37 | 4.4 热环境的设计目标 | 42 |
| 4.2.1 作用温度 OT | 37 | 4.4.1 关于楼宇管理的法律法规 | 42 |
| 4.2.2 湿-黑球温度 WBGT | 37 | | |

5. 室内空气环境 44

秋元孝之

- | | |
|------------------|-------------------------|
| 5.1 室内的空气质量 44 | 5.2.1 必要换气量与换气次数 47 |
| 5.1.1 室内空气污染 44 | 5.2.2 必要换气量的计算方法 47 |
| 5.1.2 室内空气污染物 45 | 5.2.3 人体产生的污染物与必要换气量 48 |
| 5.1.3 换气的目的 46 | 5.2.4 使用燃烧器具时的必要换气量 48 |
| 5.1.4 容许浓度 46 | 5.2.5 密集房屋应采取的必要换气量 49 |
| 5.2 必要换气量 47 | |

6. 环境的计量与测量 51

秋元孝之

- | | |
|------------------|-----------------------|
| 6.1 计测项目 51 | 6.3.1 太阳辐射的测量 54 |
| 6.2 室内环境的计测仪器 51 | 6.3.2 风速的测量 54 |
| 6.2.1 温湿度的测量 51 | 6.4 对环境的现场计测 55 |
| 6.2.2 风速的测量 52 | 6.4.1 整个办公空间热环境的检测 55 |
| 6.2.3 空气质量的测量 53 | 6.4.2 工作人员周围热环境的检测 56 |
| 6.2.4 辐射的测量 54 | 6.4.3 工作状态的检测 56 |
| 6.3 气象观察的测量设备 54 | 6.4.4 检测结果案例 57 |

7. 传热的基础理论 60

长井达夫

- | | |
|--------------------|----------------------------|
| 7.1 温度与热能 60 | 7.2.5 多层墙体中的断面温度分布的计算方法 64 |
| 7.1.1 水的流动与热的流动 60 | 7.3 对流传热 65 |
| 7.1.2 传热的基本形态 61 | 7.3.1 墙体附近的传热 65 |
| 7.2 热传导 61 | 7.3.2 对流传热系数 65 |
| 7.2.1 稳态与非稳态 61 | 7.4 辐射传热系数 66 |
| 7.2.2 傅里叶定律 62 | 7.4.1 辐射与光 66 |
| 7.2.3 建筑材料的导热系数 62 | 7.4.2 辐射热授受 68 |
| 7.2.4 多层墙体的热传导 64 | |

8. 建筑物外表面的传热 73

宇田川光弘

- | | |
|------------------------|----------------------|
| 8.1 室内外表面的传热 73 | 8.4.3 吸收太阳辐射热的摄取 81 |
| 8.2 室内表面的传热 75 | 8.4.4 透过太阳辐射 82 |
| 8.3 墙体的传热 77 | 8.4.5 窗户的太阳辐射热的摄取 82 |
| 8.4 窗户的热摄取·热损耗 79 | 8.5 太阳辐射的遮蔽 84 |
| 8.4.1 传热·太阳辐射的吸收与透过 79 | 8.5.1 阳光的遮蔽 84 |
| 8.4.2 窗户的传热系数 80 | 8.5.2 雨篷的遮阳效果 85 |

9. 热传导模拟 89

长井达夫

- | | |
|-------------------|---|
| 9.1 非稳态热传导 89 | 9.1.3 室温变化率 89 |
| 9.1.1 热容量与室温变动 89 | 9.2 一维热传导模拟 91 |
| 9.1.2 建筑构件的热容量 89 | 9.2.1 热传导方程式
(heat conduction equation) 91 |

- 9.2.2 热传导模拟 92
- 9.2.3 临界条件 92
- 9.2.4 以例题为例的程序示例 94
- 9.2.5 阳解法与阴解法 94
- 9.3 热传导模拟的应用 95

10. 室温与热负荷 97

宇田川光弘

- 10.1 室温与热负荷的基本原理 97
- 10.1.1 室内空气的热平衡与室温 97
- 10.1.2 室温·热负荷模拟 98
- 10.1.3 采用手工计算的热负荷计算 99
- 10.2 室温与热负荷 99
- 10.2.1 住宅中的室温与热负荷在一年当中的变化 99
- 10.2.2 室温与暖气房的负荷 102
- 10.2.3 室温与冷气房的负荷 103
- 10.2.4 湿度与潜热负荷 103
- 10.3 写字楼建筑中的空调机负荷 104
- 10.3.1 写字楼建筑中的空调系统 104
- 10.3.2 空调机负荷 104
- 10.3.3 室温·负荷模拟例 105
- 10.4 建筑物的热性能 107
- 10.4.1 住宅的热性能 107
- 10.4.2 建筑物的热性能 108

11. 湿空气 112

秋元孝之

- 11.1 湿空气与湿空气线图 112
- 11.1.1 湿空气 112
- 11.1.2 湿空气线图 112
- 11.2 湿空气的状态值 113
- 11.2.1 绝对湿度 113
- 11.2.2 水汽压(水蒸气分压) 113
- 11.2.3 相对湿度与饱和度 113
- 11.2.4 湿球温度 113
- 11.2.5 露点温度 114
- 11.2.6 比焓(比热焓) 114
- 11.3 潜热与显热 114

12. 室内湿度调节与蒸发冷却 116

长井达夫

- 12.1 室内的水平衡 116
- 12.1.1 水平衡 116
- 12.2 除湿与加湿 117
- 12.2.1 除湿 117
- 12.2.2 加湿 118
- 12.3 对蒸发冷却的利用 118
- 12.3.1 微雾冷却(mist-细雾冷却) 119
- 12.3.2 蒸发冷却的自然冷气房 119
- 12.3.3 屋面洒水 120

13. 结露与防止结露 122

近藤靖史

- 13.1 结露的原因与分类 122
- 13.1.1 表面结露与内部结露 122
- 13.1.2 冬季型结露与夏季型结露 122
- 13.1.3 有害结露与无害结露 123
- 13.2 发生在建筑物内的水蒸气 123
- 13.3 对表面结露的研究 124
- 13.3.1 热移动与湿气移动的相似处 124
- 13.3.2 传热系数与传湿系数 124
- 13.3.3 玻璃表面结露的计算 125
- 13.4 内部结露的计算 126
- 13.5 结露的防止与对策 128
- 13.5.1 壁橱表面结露 128
- 13.5.2 屋顶里层的结露 128
- 13.5.3 窗户表面的结露 129
- 13.5.4 角隅部及热桥部位的结露 129

14. 换气·通风的基础理论 131

近藤靖史

14.1 换气·通风与缝隙风	131	14.7 温度差换气与中性带	137
14.1.1 换气与通风	131	14.8 温度差换气时的换气量	137
14.1.2 自然换气·机械换气·混合换气	131	14.9 自然换气计划	138
14.1.3 密闭性与缝隙风	132	14.9.1 自然换气的驱动力	138
14.2 风力换气与温度差换气	133	14.9.2 气象数据等的信息收集	138
14.3 流体力学的基本公式	133	14.9.3 用于自然换气的开口配置计划	138
14.4 压力损失	134	14.9.4 确保建筑物内部的换气路径	138
14.5 开口部位的流量系数	135	14.9.5 换气量的测算	139
14.6 风力换气时的换气量	136	14.9.6 自然换气案例	140

15. 机械换气计划 142

近藤靖史

15.1 换气的目的	142	15.5 全面换气·局部换气与置换换气	145
15.2 机械换气系统的种类	142	15.6 换气量·换气效率的测定	146
15.3 必要换气量的计算	143	15.6.1 换气量的测定	146
15.4 换气效率	144	15.6.2 空气龄的测定	146
15.4.1 空气龄、空气余龄、空气寿命	144	15.7 机械换气计划	147
15.4.2 标准和居住区域浓度	144		

16. 室内空气浓度等的时间变化与空间分布 149

近藤靖史

16.1 室内大气污染物浓度的时间变化	149	16.3.1 村上·加藤等人提出的 SVE 与CRI	152
16.2 室内温湿度·气流的空间分布	150	16.3.2 局部排气装置 DCE (直接捕 集率)	155
16.2.1 CFD 解析概要	151		
16.3 换气效率与空调效率	152		

附 录 159

1. 求解太阳位置与太阳辐射量的 Visual Basic 函数 / 2. 自然室温时的室内热环境 / 3. 室温与热负荷的计算方法 / 4. 求解湿空气状态值的 Visual Basic 函数

附 表 163

1. 材料的比焓常数 / 2. 湿空气线图 ($h-x$ 线图) / 3. 空气的饱和绝对湿度

COLUMN

城市气候环境图集 17 / 时间用语 21 / 职业便装 36 / 个性化空调 41 / 科技生产率 43 / 具有体感的仿真人体模型 59 / 利用光线追迹计算全形态系数 70 / 外墙内表面的辐射传热 76 / 玻璃窗的热性能 83 / 可减轻空调负荷和缓解热岛效应的隔热节能屋顶 87 / 暖气房、冷气房与外气负荷 105 / 共享空间的舒适性与集中供暖 110 / 隔热材料结露的加速形成 130 / 混合换气 132 / 风的路径 139

1. 建筑与环境

所谓“环境”，就是指围绕自己，及其周围的所有的世界。在建筑领域中，特别是在人类活动的场所中，人们时刻都在对自己所处的空间环境进行着各种各样的处理。为此，就需要通过墙壁及屋顶、地面等的建筑主体以让室外自然界的气象变化在室内得到缓和，并将室内环境维持在一个安全、健康、舒适的范围内，来设计一个与建筑设备相协调的建筑环境系统。因此，建筑的热环境·空气环境的原理对于如何设计建筑环境系统来说，则是非常重要的理论依据。

1.1 建筑与人工环境

正如表 1.1 中所示，当以“人”为主体对周围环境进行分类时，即可分为室内环境、建筑环境、都市环境和地球环境。一般室内环境是指室内的温湿度、空气质量、照度等；而建筑环境则是指建筑物周围外部空气的温湿度、日照·太阳辐射、风、噪声等。自古以来，人类就能够巧妙地利用木材、石料、泥土等各种材料的不同性能，因地制宜对房屋的格局及形态进行设计，建造出与其生活居住地自然环境相和谐的各种风格的建筑，从而对居住环境进行有效调整。但是，自然环境的不断变化仅仅靠调整居住环境是远远不够的。随着人类发明的钻木取火采暖，19 世纪开始出现了暖气采暖，到了 20 世纪初期又出现了利用冷冻机降温的冷气房。由于人类开发的照明技术的进步，实现了不必通过窗户采光也可以得到明亮的光线，而且在夜间也可以亮如白昼。可以说没有电灯照明，今天的建筑也就丧失了使用功能。目前，人类已对暖气房、冷气房及照明等建筑设备与建筑主体统一加以考虑，将建筑的居住环境调整并纳入适宜人类活动的范围之内。

都市环境是由建筑群及交通网、电气、燃气、上下水道等城市设备的各种因素影响所形成的一个广域的环境，都市环境中还有城市气温要高于其周边地区气温的热岛效应以及大气污染等现象。建筑设备所产生的能源消耗、建设规模的扩大以及城市道路的广域化等，给建筑周围的环境及都市环境带来极大的影响。地球环境是指地球本身的自然环境，大气中 CO₂ 浓度上升引起的全球气候变暖，人类活动对臭氧层的破坏，致使地表紫外线增强等地球自然环境造成的影响已成为极大的问题。伴随建筑使用与建设所消耗的能



图 1.1 新宿高楼林立的城区

城市建筑中的舒适、健康的室内环境是通过建筑的外表面和空调设备加以控制的。为此，规划、设计并加以实施的建筑就应当考虑对都市环境的影响等各种因素。

人工环境与自然环境

表 1.1

分类	对象	关键词
室内环境	室内	温度、湿度、空气质量、气流、照度
建筑环境	建筑物周围	日照·太阳辐射、风
都市环境	建筑群、城市设施	城市气候（热岛、骤雨、风）
地球环境	大气、海洋、陆地	气温上升、大气 CO ₂ 浓度、臭氧

源也给地球环境带来了极大的影响。可以说室内环境的形成与地球环境有着密不可分的关系。

1.2 环境工程学与室内环境的控制

建筑的物理环境中包括热、空气、光，以及声音等。建筑环境工程学就是对这些物理现象加以控制，确保居住环境舒适的一种基础理论。从广义上讲，也属于建筑规划理论的一个领域，所以直至1970年之前“建筑环境工程学”一直被称作“建筑规划原理”。舒适、健康、安全的居住环境是通过具体的建筑主体与建筑设备才得以实现的，因此环境工程学作为包括建筑设备在内的一个学科，采用了“建筑环境工程学”的提法。

建筑环境工程学的领域具有多个分支，本书考虑到建筑环境与建筑中的能源消耗量，主要对作为建筑环境工程学基础知识中主要内容的热与空气进行了论述。

① 与热有关的环境以及与室内的温度、湿度有关的内容。湿度包括伴随加湿、除湿所引起的结露等。

② 与空气有关的环境，是指通过换气来排除室内空气的污染。

除此之外，换气的目的还包括排热、排湿。为了进行控制，首先就应当设定一个以室内温湿度、室内空气的 CO_2 浓度等目标的室内环境标准。实现该方法大致可以分为：通过外墙及窗户等的“建筑方法”，以及采用暖冷房·换气设施等机械设备的“设备方法”或“机械方法”。我们将建筑方法称作“被动方式”或“消极方式”，将设备方法称作“主动方式”或“积极方式”。

图1.2为室内热环境控制方法的示意图，表示通过建筑方法形成的自然室温及室外气温逐渐变化的状态。自然室温就是指不供暖的房屋及不供气房屋的室温。自然室温受窗户开口的大小、外墙及窗户的隔热性能、建筑结构体热容量等因素的影响而有所不同。因从窗户照射到室内的阳光可以使自然室温升高，所以希望冬季能够产生自然暖气房的效果。另外，夏季则希望通过遮挡阳光照射及通风而产生降低室温的效果。图1.3中所示的日本民居就非常适于夏天避暑。

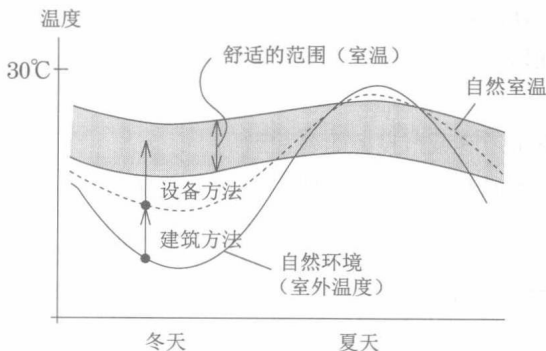


图1.2 控制室内环境的建筑方法与设备方法
将室内环境控制在一个舒适范围内的方法可分为利用自然环境的建筑方法和利用机器设备的设备方法两种。这两种方法并不矛盾，而是应当建立一个将两者统一的建筑环境控制系统。



图1.3 日本传统的民居（大隈重信旧宅，佐贺市）
江户后期至明治初期的日本民居，大屋顶的隔热效果、回廊形成的过渡空间以及糊纸隔扇拉门、拉窗在拉开时都可以产生良好的通风效果。因为这些建筑中没有供暖、供冷设施，所以对周围环境的影响很小。但在冬季，居室内的室温就会很低。

一般只要是自然室温,那么一年当中就很难将室温维持在一个舒适的范围内,所以还需要通过冷气房·暖气房等的设备方法来弥补建筑方法。供冷房需要排出室内热气的设备,而暖气房则需要向室内提供热气的设备。正如图 1.2 中所示,室外气温与舒适室温之差是夏季小、冬季大,而该差在夏季和冬季是完全不同的。因冬季室内外温差大,所以通过建筑外墙的隔热可以大大减少室内热量向室外流失的热损耗。夏季室内温差变化小,这样对隔热效果要求就不像冬天那样强烈。在图 1.2 中,与供暖期间相比供冷期间要短,可以说供冷的必要性也小。但冬季同样也有太阳辐射及室内产生热量的“暖气房效应”,而且因温度高故同样需要进行除湿。到底暖气房、冷气房应当达到一个什么样的标准,因气象条件、建筑物的隔热·遮热性能及使用方法的的不同而有很大的不同。但如果采用了建筑环境工程学的理论,那就有可能实现不仅可以减少暖气房、冷气房所耗能源,同时还可以保证有一个舒适的室内环境。

为保证室内空气能够维持在一个健康、安全的状态中,通风换气是必不可少的方法之一。通过制定一个确保能够满足室内环境标准的换气量,就可以改善室内的空气质量。通风换气的方法包括:通过开关窗户等的自然通风和利用通风扇等的机械换气两种。

如果换气量过少室内空气受到污染,就可能会出现室内污染综合征(又称室内装修综合征)、不良建筑综合征(SBS)。另外,通风换气与热(保温)有着密不可分的关系。过大的换气量会增加冬季暖气房、夏季冷气房的负荷,而在春季、秋季等过渡期间,来自阳光的照射及室内产生的热量不仅会出现室外的气温低于室内的现象,而且有时还会需要冷气房。这时,大气就成为冷热源,大量空气的流入也可以产生冷气房的效果。此外,通风换气也是排出室内水蒸气,并防止结露的方法。

1.3 建筑环境与能源

在当今的建筑中,冷气房、照明、热水等都需要消耗电力、城市燃气、石油等能源。在能源消耗统计中,用于建筑的能源被归类于民生用能源,占日本全部能源消耗量的 25% 左右。其中,住宅与住宅之外的比率各占一半。在美国及欧洲诸国,尽管各国不尽相同,但用于民生的比率要高一些,预计随着日本居住水平的提高,民生所占的比率也会有所增高。图 1.4 所示为日本的能源消耗量。

图 1.5 表示按住宅用途分类的能源消耗比率。在日本的住宅中,这种能源消耗量的所占比例结构为:暖气房 17%、热水 23%、照明·家电 57%,而冷气房只占 3%。对建筑物采取隔热处理是消减用于暖气房的能源的重要措施。在暖气房概念已得到普及的欧洲,早就提出了隔热的重要性。日本自 1973 年发生石油危机以后,就开始认识到隔热的重要性,提出了可节约住宅能源的隔热标准。在进行隔热的同时,通过高气密性减少缝隙风以及确保必要的换气量也是非常重要的。当前,我们力图实现的目标就是:以高隔热·高气密的住宅作为舒适、节能住宅的标准之一,并使之得到有效的普及。

另外,在写字楼及商业设施等的大型建筑中,用于冷气房能源所占的比率很大。图 1.6 所表示的就是写字楼能源的消耗状况,其中在冷气房及暖气房中大部分的能源消耗都是用于冷气房,所以如何减少写字楼中用于冷气房的能源消耗量

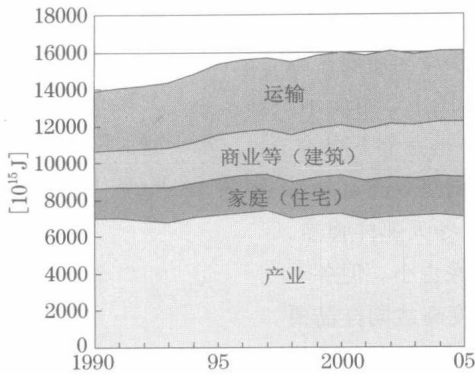


图 1.4 日本最终能源消耗 (二次能源)^[11]

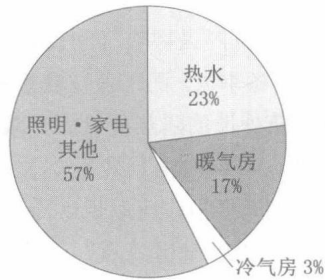


图 1.5 住宅的一次能源消耗 [76.3GJ、(户·年) 2007 年]^[12]

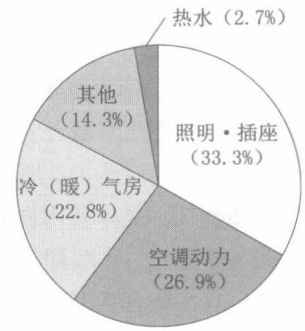


图 1.6 写字楼的一次能源消耗 [2041MJ/(m²·年) 1999 年]^[13]

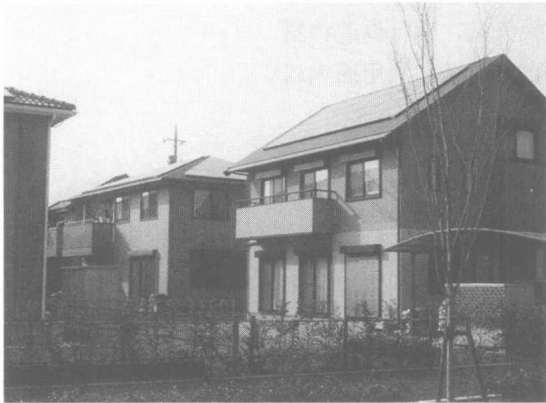


图 1.7 采用太阳能发电装置的住宅 (日本群馬县太田市) 集合住宅小区内引进了太阳能发电装置。住宅的屋顶上装有太阳能电池板。太阳能发电装置所发的电能除可供自家消费外, 多余的电能还可以卖给电力公司。

则成为重中之重。在减少用于冷气房的能源消耗量中, 除去自然光及电灯照明产生的室内升温, 以及通过采取利用天然冷气房、全热交换等降低冷气房负荷的措施而提高送冷系统的效率也是非常重要的。

目前所希望的是, 如何将太阳能发电以及阳光的利用作为建筑中的能源加以运用。利用太阳热能提供热水, 而在供暖负荷大、冬季晴日多这样的条件下, 所希望的则是利用太阳能形成的天然暖气房系统来实现供暖所消耗能源的削减效果。太阳能发电就是利用太阳能电池板进行发电并输出电力。图 1.7 表示的是采用太阳能发电的住宅。

如何才能使实现舒适、安全的建筑环境和力求节能这两个相互矛盾的问题达到统一? 这在建筑规划、设计、运用中已经受到人们的广泛关注。为了有效地

提高建筑消耗能源的效率, 需要涉及材料、构件及机器设备等基础技术, 乃至与建筑的建造及整体系统规划等系统的设计、构筑有关的各种技术。这些技术都有很大的发展空间, 人们期待着建筑环境业的人士能取得巨大的成果。

1.4 单位与基本量

本书所用到的主要物理量及符号的一览表如卷首所示。本书使用的单位制为 SI 单位制, 目前这种单位制被广泛用于世界各国。IS 单位制是 ISO (国际标准化机构) 制定的单位制, SI 单位制的正式名称叫做国际单位制。在日本, 曾被用于工程学单位制使用, 1991 年以后规定使用 SI 单位。在表中, 作为参考用还表示了工程学单位制。

SI 单位与工程学单位都是米制的单位制, 长度的基本单位均为“m”, 重量的工程学单位为重量“kgf”, 而在 SI 单位中质量“kg”为基本单位量。此外, 时间在 SI 单位中, 秒“s”为基本单位量。



图 1.8 高楼林立的城区

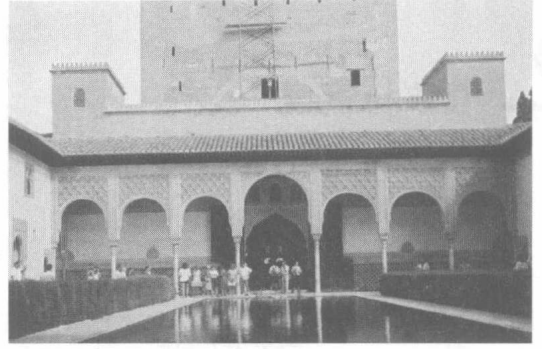


图 1.9 阿兰布拉宫庭院（西班牙，格拉纳达）

◇ 练习题

1.1 请从建筑环境工程学考察的角度出发，对下述照片予以论述。

(1) 都市的日照（图 1.8）（提示：受太阳移动、日影的影响）。

(2) 阿兰布拉宫（图 1.9）（提示：蒸发冷却）。

1.2 从建筑环境工程学的视点出发拍摄具有特点的建筑物，并按照 1.1 中所提的要求进行说明。

1.3 举例说明如何利用再生能源（renewable energy）。所谓再生能源，就是指利用太阳热辐射、太阳能发电等的太阳能，以及水利、风力、地热、生物质能（bio mas）等。像石油、煤炭等资源不枯竭则被称为“可能再生”。

(1) 列举可能能源的种类并加以说明。

(2) 了解建筑中的利用方法。（提示：暖气房、冷气房、供热等热利用。作为电力的利用）。

(3) 对所期望的效果进行说明。（提示：对建筑环境、都市环境、地球环境的影响。CO₂ 排放量的降低等）。

■ 参考文献

- 1) 田中俊六・武田 仁ほか：最新建築環境工学，井上書院，2006。
- 2) 田中俊六・宇田川光弘ほか：最新建築設備工学，井上書院，2002。
- 3) 木村幸一郎：建築計画原論（新版），共立出版，1959。
- 4) 渡辺 要編：建築環境原論，丸善，1965。
- 5) 浦野良美・中村 洋：建築環境工学，森北出版，1996。
- 6) 木村建一：建築環境学 1，丸善，1992。
- 7) 木村建一：建築環境学 2，丸善，1993。
- 8) 環境工学教科書研究会編著：環境工学教科書，彰国社，1996。
- 9) Olgyay, V.: *Design with Climate*, Princeton University Press, 1973.
- 10) Lechner, L.: *Heating, Cooling, Lighting-Design Methods for Architects*, Wiley-Interscience, 1990.
- 11) <http://www.env.go.jp/doc/toukei>（環境省，平成 20 年版環境統計集）
- 12) 国土交通省住宅局監，省エネルギーハンドブック編集委員会編：住宅・建築省エネルギーハンドブック（2002），建築環境・省エネルギー機構，2001。
- 13) 建築環境・省エネルギー機構：住宅事業建築主基準の判断の基準ガイドブック，建築環境・省エネルギー機構，2009。

2. 气象与气候

气候因国家和地域的不同也有所不同，根据所在地域的气候，选择合理的建筑形态及材料，以及建造方法是实现室内环境舒适不可或缺的条件之一。所谓气象 (weather)，是指气温、气压等所表现的大气的状态及降雨等大气中的各种现象；而气候 (climate) 则多指某地域一年当中的综合的、统计的气象倾向。本章在对与建筑有着密切关系的气象要素进行说明的同时，还会涉及气候与建筑具有何种关系等相关知识。

2.1 气象要素

2.1.1 气温

室外气温是直接影响室内温热环境的最基本的气象要素，而且缓和室外气温的变化以形成一个舒适的室内环境是住所具有的最根本的功能之一。

气温 (temperature) 在一年当中发生周期性变化 (年周期变化) 的同时，在一天当中也会发生周期性的变化 (日周期变化)。造成这种气温变化的主要因素就是太阳辐射 (辐射平衡)。正如图 2.1 中所示，在太阳辐射多的晴天气温就会升高，一昼夜间最高气温和最低气温变化的差值——“日较差” (diurnal range) 也大。相反，阴天、雨天的日较差就小。夜间气温下降，受有效辐射 (2.1.4 项) 的影响地表温度就会下降。最低气温出现在日出之前。受地面热容量的影响，一般最高气温往往会出现在太阳辐射量最强的时刻向后推迟至午后的 13:00 ~ 14:00。

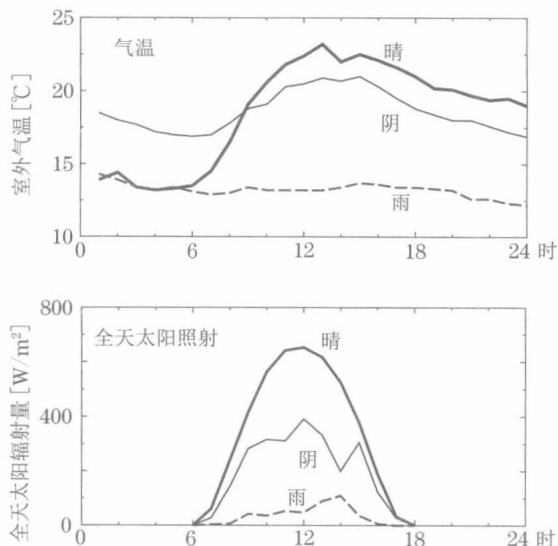
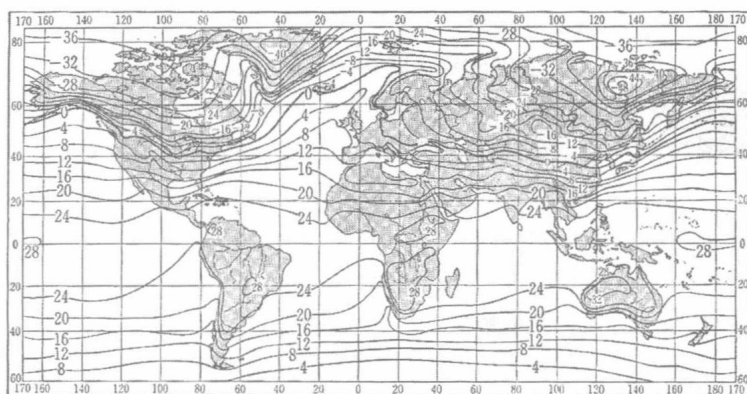


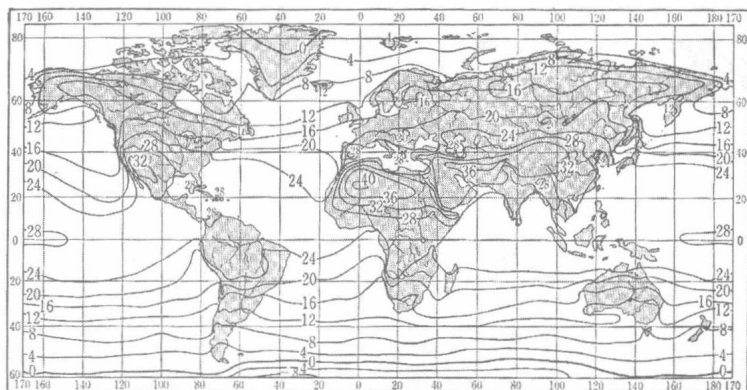
图 2.1 天气不同对日气温变化的影响

与日气温变化的情况相同，年气温的变化受太阳辐射的影响也很大。在太阳的辐射角高、日照时间长的夏季，气温就高。不过与日变化相同，受地面或海洋热容量的影响，最寒月 (月平均气温最低的月份) 会比太阳辐射量变化的最小值向后推迟 1 ~ 2 个月；而 7 ~ 8 月是最暖月 (月平均气温最高的月份，以北半球为例)。

气温除受太阳辐射量的影响外，还会受到海陆位置、洋流、海拔高度等的影响。从图 2.2 中可以看到，在亚洲内陆，其年较差 (annual range) (最寒月平均气温与最暖月平均气温之差) 就非常大。这是因为：与海洋相比，陆地的有效热容量大，特别是在冬季，受地表向大气散热的有效辐射的影响，近地表的气温就会大大降低。此外，内陆或沿海这种地理位置的不同不仅会影响到年变化，还会影响到日气温变化。也就是说，内陆具有日较差大的倾向。



(a) 1月份 的分布



(b) 7月份 的分布

图 2.2 1 月及 7 月世界气温的分布 (海面更正后)¹⁾

另外，我们从图中还可以看到：即便同样是在中纬度地域，欧亚大陆的大西洋沿岸因受洋流（墨西哥暖流）的影响，该地域 1 月份的平均气温就要比太平洋西海岸的平均气温高。除此之外，当海拔高时，随着气压的降低气温也会降低。当没有水蒸气凝结时，每升高 100m 气温就会降低约 1°C ；而当有水蒸气凝结时，从理论上讲则会在气压·气温的影响下，每升高 100m 气温就会降低 $0.4 \sim 0.8^{\circ}\text{C}$ 。

与一年中暖气房·冷气房负荷有关的室外温度统计计量一般采用“采暖度日数”（degree day）。例如，暖气房的 D_{18} ，是指当某日室外日平均温度低于 18°C 时，则按公式（2.1）对该日平均温度与 18 的差值进行计算，并将计算结果累加后就可以得到一年的采暖度日数。因其基本单位是“ $^{\circ}\text{C} \times \text{天数}$ ”，故被称作“采暖度日数”（图 2.3）。

$$D_{18} = \sum_j (18 - \bar{\theta}_{o,j}) \quad (2.1)$$

其中， $\bar{\theta}_{o,j}$ ：日平均室外气温， j ： $\bar{\theta}_{o,j} < 18^{\circ}\text{C}$ 时的指数。

该数值主要用于比较区域间的暖气房负荷，以及采暖期度日数的简单计算。此外，数值 18°C 一般多作为计算暖气房采暖度日数时室温使用的数值。另外，也有采用增加了冷气房采暖度日数及太阳辐射·内部发热等影响因素的“增项采暖度日数”（expanded degree day）。

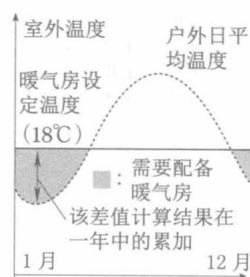


图 2.3 采暖度日数概念图

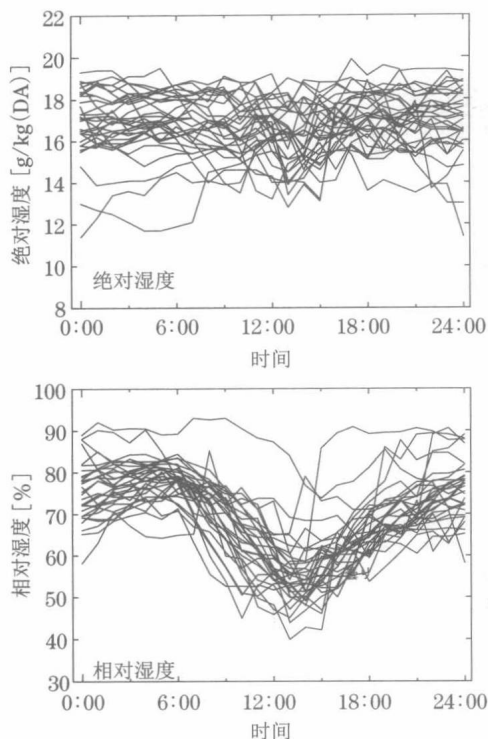


图 2.4 绝对湿度、相对湿度的日变化
(东京, 2000 年 8 月)

^{*)} 相对湿度是指“空气中的实际水汽压与同温度下饱和水汽压的百分比”。绝对湿度则是指“单位体积空气中所含水蒸气的质量”(详见第 11 章)

2.1.2 湿度

室内的湿度取决于“室外湿度”(humidity)的大小,而且室内夏季闷热及冬季干燥也是由室外的湿度决定的。当使用空调时,为了调节室内的湿度,就需要对室内的空气进行除湿(水蒸气)或加湿,而用于这种除湿·加湿的负荷的大小也取决于大气的湿度。另外,潮湿的气候往往容易加速霉菌的繁殖,特别是会对木结构建筑的耐用性有所损害,对建筑的影响很大。

表示湿度的方式有很多种,其中最具代表性的表示方式就是相对湿度(relative humidity)和绝对湿度(humidity ratio)^{*)}。一般日常经常使用的相对湿度单位用“%”表示,气温越高,相对湿度在 100% 时水蒸气,即饱和水汽压(saturated water vapor)时的质量及水汽压也就越大。所以,水蒸气的质量及水汽压是固定的,也就是说当绝对湿度一定时,温度越高相对湿度就越大。正如图 2.4 中所看到的,从大气的绝对湿度中看不到明确的日变化,只有覆盖该区域气团的交替变化等原因才会引起绝对湿度的变化。另一方面,因气温的日变化而使饱和水汽压发生变化,相对湿度具有白天小、夜间大的倾向。

大气的绝对湿度在一年当中的变化为:随着气温的变化,夏季绝对湿度大、冬季绝对湿度小。

2.1.3 太阳辐射量

太阳辐射量(intensity of solar radiation)就是指太阳向地球表面辐射电磁波的能量,又称日射量。通常,每单位时间、单位面积的值用“W/m²”表示。因太阳光一旦照射到室内就会使室内的温度升高,所以就需通过对窗户及遮挡等进行的各种设计,实现只在冬季获取太阳辐射热能的需求。另外,还可以作为太阳能发电及太阳能供热等的自然能源加以利用。

太阳辐射量受天气气候中的有无日照,以及太阳高度、大气水蒸气造成的散射·吸收的程度等因素的影响而发生变化。大气层外的太阳辐射量在法线面(垂直于太阳光线)为 1300 ~ 1400W/m²,但因大气造成的散射·吸收,即使地球表面是晴空万里的天气也只能达到 1000W/m²。像法线面以外,只能是小于该值的数值。

图 2.5 表示的是南铅垂面 1 月份太阳辐射量日累加值的平均值。在冬季南向太阳辐射量大的地域,可以考虑在建筑的南侧设置开口,以便室内能获取太阳辐射热。这样就可以维持冬季的室内温度,减少用于暖气房的能源。从图中可以看到,北太平洋一侧的太阳辐射量比日本海一侧要强,这是因为来自西北方向的季风容易使日本海一带的上空形成云层;而吹向日本列岛山脉另一侧的则是来自太平洋的干燥的风,所以容易形成晴好的天气。北海道东南部的沿海地域,因该地域气候寒冷且南面太阳辐射量强烈,所以有望通过能使阳光照射到室内的种种方法来改善室内环境。