

生活与科学文库

〔日〕 小原俊平 古泽隆彦 菅真一郎
安藤 启 藤田茂明 共著

室内舒适环境设计

生活  科学
文库

科学出版社

CHM 社

生活与科学文库

室内舒适环境设计

〔日〕 小原俊平 古泽隆彦 藤田茂明 共著
菅真一郎 安藤 启
彭 斌 译

科学出版社 OHM 社
2000

图字:01-2000-1512号

Original Japanese edition

Kaitekina Shitsunai Kankyou no Tsukurikata by Shunpei Ohara,
Shinichirou Kan, Shigeaki Fujita, Takahiko Furusawa and Kei Andou

Copyright © 1994 by Shunpei Ohara, Shinichirou Kan, Shigeaki Fujita,
Takahiko Furusawa and Kei Andou

Published by Ohmsha, Ltd.

This Chinese language edition is co-published by Ohmsha, Ltd. and
Science Press.

Copyright © 2000

All rights reserved.

本书中文版版权为科学出版社和 OHM 社所共有

テクノライフ選書

快適な室内環境の創り方

小原俊平 古澤隆彦 菅真一郎 安藤 啓 藤田茂明

オーム社 1994 第1版第1刷

图书在版编目(CIP)数据

室内舒适环境设计/[日]小原俊平等著;彭斌译.

-北京:科学出版社,2000

ISBN 7-03-004889-X

I. 室… II. ①小… ②彭… III. 室内装饰-建筑设计
IV. TU238

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 64139 号

科学出版社 OHM 社 出版

北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717

北京东方科龙电脑图文制作有限公司 制作

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

定 价: 8.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

mayor/11

前 言

决定一座建筑物优劣的因素很多,其中哪些是重点呢?这就因人、因用途或目的而异。外观美无疑是人人都会赞同的重要因素。这就是说,建筑物要有作为美术的一面。但建筑物又不同于绘画、雕塑等美术作品,它不容选择地进入人们的视野,并长时间地给人以视觉上的刺激。这种刺激对欣赏其外观的人来说,是一种愉悦,而对不喜欢其外观的人来说,是一种令人不快但却不得不接受的存在。而且,不仅仅是外观,对于使用这座建筑物的人来说,其内部环境亦有同样的问题。我们曾以办公大楼为对象,在劳动科学研究所(财法集团)的越河六郎先生和尾入正哲先生的协助下,调查过工作人员对室内环境的评价以及室内环境与疲劳感的关系。从调查结果可见,两者之间关系非常明显:人们越是对室内整体布局,对家具、天花板以及墙壁等的色彩、图案设计感到满意,就越不容易产生焦躁情绪。虽然人们集中精力工作时,无暇关注周围的环境,但一旦停止工作,放眼四周时,如果所见的环境赏心悦目,便有利于尽快消除疲劳,也就是说不会发生疲劳积累的现象。由此可见,建筑物一向与外界环境关系密切。由于建筑物本身带有很多公共性,因此有关设计者对于其中的艺术构思必须要承担起社会责任。

其实,建筑物与外界的关系还不止于此,对它们的评价亦不只是一个艺术构思所能涵盖的。例如,构成室内环境的各个因素:温度、声音、亮度以及视觉环境等等的优劣都直接影响人的疲劳感。这是根据前述调查所确定的。此外,还有与设计构思有关的,如房间的使用性、与外界的交流性、文件的收存空间、个人的活动空间、室内的布置、空间的大小与利用方法,即与室内功能有关的各项,都对“慢性疲劳症”有影响。

但是,到目前为止,不管我们所谈的室内环境多么良好,仅此一项是难以作为对建筑的评价标准的。与对建筑结构的安全性一样,人们认为对室内环境的要求也是理所当然的。正因为是这样,人们长期享受良好的室内环境后便会“久居兰室,不闻其香”,在日常生活中,意识不到自己身处福地。但是,在上述室内环境要素当中,特别是直接刺激人的感官的温度、声音、振动和光照等环境因素中,不论是哪一项水平过低,都会给建筑物整体质量带来致命的打击。这是已经得到确认的。

从这种观点来看,迄今为止的室内环境规划只是为了避免造成恶劣的环境。无论怎么说,这都是消极、被动的立场。但是,最近以办公大楼的设计为中心,情况有了变化:为了使办公大楼能够适应世界上令人眼花缭乱的种种变化,装备了以计算机为主的各种高性能的信息通讯系统。但是,对于楼中的办公人员来说,每天处在这种系统的包围之中,忙于处理日常事务实在是令人感到不快,作为补偿,为他们改善工作环境是非常必要的。这一点已

被人们所理解。为了使他们能摆脱没有人情味的机械所带来的压抑感,就需要让他们享受以阳光和绿色植物为代表的大自然。为此,可以在室内放置一些花草,也可以把室内设计成有玻璃顶的内庭形式。处于同样的考虑,人们还倡议要使冷暖风机随个人周边环境、个人的爱好进行调节,也就是实现“个人空调控制”。

上述考虑的空间不仅限于办公大楼。在高耸入云的超高层住宅中,或在深层的地下设施内,都不能切断人与自然的亲切关系。要使人们在不同场合都可以看到、闻到大自然的风景与气息,为了达到这个目的就要将传统上消极的、被动的室内环境规划转变为积极的、主动的行为,就是要形成一个更使人感到舒适的空间。

为了创造这样一个空间,不论在何种场合、何种环境状态下,都要明确以“舒适”为目的。这种目的,根据房屋、空间用途的不同而不尽相同;对以特定个人或不特定多数人为对象的场合来说,想法和处理手段也不同。设计室内舒适环境的研究一直是建筑环境规划中的一个重要内容。

在明确了某个空间需要何种环境之后,就要考虑如何实现该环境以及实现该环境所需的技术,即考虑有关建筑设计与设备的具体问题。这个问题也是建筑环境规划中的另一个重要内容,目前已为此进行了大量的研究和技术开发。

以上述知识和技术为基础,我们便可以确定设计方针,即为既定空间创造必要的环境,该如何如何设计。但这里面有一个问题,就是按着设计进行施工后,结果是否会得到当初设

想的效果呢？我们日常使用的工业制品在上市前都要有一个反复试制阶段，但对于建筑，特别是大规模的建筑来说，事先不可能进行试制。因此，需要解决问题的方法，这种方法之一就是“室内环境的模拟体验”。目前对这一方法的研究正在大量进行中。为了解建筑物竣工后的室内环境，我们在设计阶段就要召集与建筑有关的各方面人士，进行事前模拟体验，判断设计是否合理。这种方法的代表性例子就是体验音乐厅音响状态的“声场模拟”。除了模拟体验之外，还有的利用空调在模型中产生空气气流，使之实现可以用眼睛观察的“气流可视化”；以及在自然光或人工照明条件下预测物体的外观或窗外的景观，使它们以画像形式表现出“视环境模拟”和“景观模拟”。

本书执笔者均是相应领域的专家，书中以简明易懂的风格，按不同专业介绍了室内舒适环境所必须的构想和实验。若读者能在阅读之后，对我们所做的工作产生一些兴趣，我们将感到不胜荣幸。

目 录

第 1 章 温热环境

1.1 理想的温热环境	1
1.2 如何获得理想的温热环境	14
1.3 预测温热环境的方法	31
1.4 空气质量问题	41

第 2 章 声音与振动环境

2.1 理想的声音与振动环境	47
2.2 如何得到理想的声音和 振动环境	62
2.3 预测声音和振动环境的方法 ...	81

第 3 章 光环境

3.1 理想的光环境	91
3.2 如何创立理想的光环境	111
3.3 预测光环境的方法	115
3.4 未来的光环境技术	121

第 1 章 温热环境

1.1 理想的温热环境

一个空间应有什么样的温热环境,要依据该空间的用途而定。大致来说,可以分为适于物品加工的温热环境和适宜人类生活的温热环境。前者包括从温度 -40°C 以下的冷库到温度 $+30^{\circ}\text{C}$ 、湿度为 80% 的纺织工厂,不仅因对象的性质不同而千差万别,而且要提供条件以满足各自的特别需求。本书内容主要涉及后者,即以人为对象的舒适的温热环境。

虽然我们用了“舒适”这个词,但书中从头到尾所讲的都是“未感到舒适”的温热环境。一般,人们对周围事物的不适感,是有一个衡量标准的,然而对于舒适却难以有一个衡量标准,对温热的感觉亦不例外。因此,对于我们在下面要讲的物理条件来说,可能从“减少不适感”角度来考虑,比“提高舒适感”更为贴切。对声音、振动和光环境的考虑亦是如此。

我们曾考察过不同办公室的温热环境,同时就冷热感、对环境温度的满意程度向其中的工作人员做了调查。调查的结果如图 1 所示。

冷热感与舒适感是以每个人的生理、心理情况为基础的。但是,上述调查结果表明,认为舒适的温热环境与感觉不到冷或热的温热环境大概一致。也就是说,一般很少有“再热一点就舒服了”或“再冷一点就

舒服了”这种评价。使人感到舒适就是既不让人觉得冷,也不让人觉得热,但实际上并不这么简单。首先,不论是什么样的温度,都不可能满足所有人的需要,不可能使每个人都既不感到冷也不感到热。

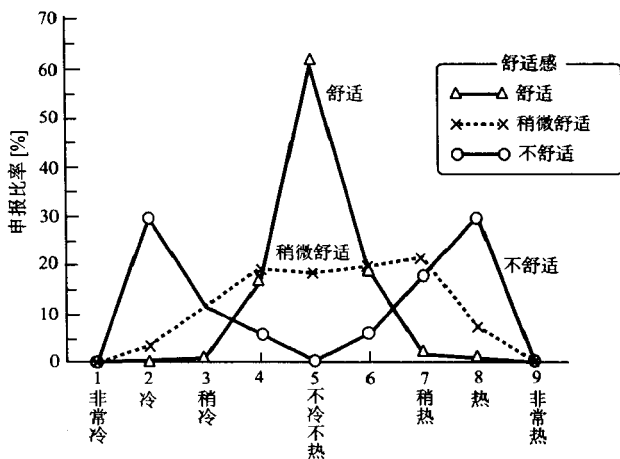


图1 寒暑感和舒适感的关系

根据我们的调查,同样的室内温度,也会使少数人觉得“太冷”或“太热”。这种让人吃惊的结果并不少见。现在我们尚无法断言这种情况就是每个人生理反应的差别。我们在下面要介绍的主题之一,就是为了形成人们所希望的温热环境所需要的技术问题。

何为温热环境

迄今为止,我们已多次使用过“温热环境”这个词,那么它究竟意味着什么?是由什么因素构成的?

在回答这些问题之前,我们先考虑一下在什么状态下人会感觉到热或冷。我们摄取的食物与氧气会在人体内产生运动所需的热量 Q_p 。与此同时,也会向体外放出同等量的热 Q_e 。在此过程中, Q_p 与 Q_e 维持平衡,则我们既不会感到冷也不会感到热。这就是对大多数人来说感到舒适的状态。若不能维持上述平衡, $Q_p > Q_e$ 时,热的放出受阻,人就会感到热;相反,在 $Q_p < Q_e$ 时,热的放出过大,人就会感到冷。由此可见,支配温热感觉的因素就是影响热的产生与放出。下面我们继续作进一步思考。

空气温度 水从高处流向低处,电流从电压高的点流向电压低的点,与此相同,热也是从温度高的地方向温度低的地方传导,热流的强度与温度差成正比。因此,在周围环境空气温度 θ_a 低于人的体表温度 θ_b (通常为摄氏 36°C 左右) 时,人体就会向外散发热 Q_i , 空气温度上升后,与体表温度之差缩小,热的散发亦随之减少。这样,人就会感到温暖,甚至感到热。与此相反,空气温度下降后,与人的体表温度的温度差越大,热的散发量增多,就会使人感到凉或者冷。上述情况可以用公式表示:

$$Q_i = K_c(\theta_b - \theta_a) [\text{W/m}^2] \quad (1)$$

式中的系数 $K_c [\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}]$ 称作衣服的“热传导率”,由衣服的材料、厚度和衣服表面上流动的气流的强度所决定。空气温度是构成温热环境的基本要素。

辐射 物体表面常常散发出与其温度相应的“辐射热”。辐射热(线)是与电波和光相同的 γ 线。在两个物体相对时,二者之间即可互换辐射热。例如,人体向其面对的物体,如窗、墙壁、地板和家具释放出的辐

射热,可用以下公式表示:

$$Q_r = C\psi(T_c^4 - T_r^4) \times 10^{-4} \text{ [W/ m}^2 \text{]} \quad (2)$$

式中: C 为由衣服(或皮肤)和物体表面的颜色等所决定的系数[$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$]; ψ 为由物体的形状和大小与人的位置决定的系数,物体表面的面积越大,且与物体的距离越近,该系数就越大; T_c 和 T_r 分别表示衣服或物体表面的温度,用绝对温度[K]表示,将摄氏度[$^{\circ}\text{C}$]加上 273.15,即是用 K 来表示的绝对温度。

初夏时,当人们进入墙壁厚实的水泥或石质建筑物内时,虽然其中并没有空调设备,但也会感到阵阵凉意。这是因为在冬季被冷冻的建筑物尚未回暖,其内侧的表面温度 T_r 仍然较低,此时,根据上述(2)式,人体会向墙壁、地板和天花板散发大量的辐射热 Q_r 的缘故。我们还有这种体验:在供暖期间,如果坐在太阳光直射下的百叶窗前,尽管室温并未达到设定的温度,但却会感到酷热,不得不脱掉上衣。在冬季不得不一个劲儿地吹着暖风空调时发生这种情况,不免让人觉得真是干了件蠢事。究其原因,是由于百叶窗外侧受到日晒,温度上升,引起室内一侧温度 T_r 上升所至。此时(2)式值为负,身体开始吸收多余的辐射热。

所谓来自壁炉的辐射热,就是随着炉火的摇曳,带给人一种独特的、静谧的感觉。这也许是来自古代人类露宿原野或洞穴之时,燃起篝火取暖的遥远的记忆吧。人类的祖先在露天的环境下燃起篝火取暖的原因,并不是由于烤热了周围的空气,而是像(2)式所表示的那样,火焰发出的辐射热 Q_r 与空气温度无关地直接传送到人体的表面并被吸收。

气流 刮风会使人感到凉爽或寒冷。这并不是因为风会使空气温度下降,而是由于刮风使人体表面更

容易向周围散热,也就是说,(1)式中 K_c 的值增加了,电风扇就是利用这一原理制造出来的。冬季有人在山上遇到风雪冻死,也是因为无法抵御寒风所致。

湿度 “闷热”是人们在夏季常用的词,之所以有闷的感觉,是因为空气中的水蒸气压力增高,体内流出的汗无法或难以蒸发,使得由体内向外散发的热减少。

设因汗的蒸发从体内向外散发热量的最大值为 Q_e ,可由下式表示:

$$Q_e = LK_p(f_b - f_a) [W/m^2] \quad (3)$$

式中: L 为水的气化热 $2.26 \times 10^6 [J/kg]$, $K_p [kg/m^2 \cdot s \cdot Pa]$ 为由空气温度、气流和衣服的透气性决定的系数, f_b 和 f_a 分别为气压和皮肤表面的水蒸气气压 $[Pa]$ 。

即使我们的皮肤表面干燥,感受不到有汗的时候,实际上也是在不断地从体内通过汗腺接受水分的补充,并由水分的蒸发而向体外散热。这种体内水蒸气的散发,在我们站立或活动时也会通过呼吸来进行。对以上现象,用一个专门的术语来形容,就是“无感蒸泄”。如果在运动量加大时, Q_p 增加,或由于空气湿度、辐射热的变化使 Q_r 、 Q_c 变小时,为了使热的产生与排出之间的平衡得以恢复,就会增加皮肤表面水分的蒸发,随之散热量也增大。但是,散热量的最大值受(3)式制约,不能蒸发的水分以汗的形式白白流失掉,并未起到降低体温的作用。在舒适(即不冷不热)的状态中,由蒸发而完成的散热量占全部散热量的25%左右,在气温达到皮肤温度($35^\circ C$ 左右)时,占全部散热量的100%。

着衣量 当我们感到冷时,穿的衣服就会加厚。

1.1 理想的温热环境

由此会减少(1)式中热传导率(K_c)的值,即热的散发受到限制。表示着衣量(对热进出的阻力)的指标用clo来表示(1个clo的热阻为 $0.155\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$)。裸体时为0clo,着一条短裤时为0.1clo,着西装扎领带时为1clo,穿戴厚毛皮防寒服、防寒帽、防寒靴,厚手套时约为3clo。也可以说,一克衣服相当于0.35clo左右。但是如果裸体坐在椅子上,与椅子的接触面也会妨碍热的移动,相当于穿0.1~0.2clo衣服的效果。

运动量 在寒冷的气候下,活动身体会感到暖和一些。这是因为运动量的增加会导致新陈代谢的加快,增加排出的热量。表示运动量,即新陈代谢大小的指标用迈特[met]来表示。在安静仰卧状态下运动量为0.8met,坐在椅子上时为1met,站立时为1.4met,从事家务劳动时为2met左右,1met相当于 $58.2\text{W}/\text{m}^2$ 。

评价温热环境的标准

由上述可知,影响我们对温热感觉的因素有空气温度、热的辐射、气流、湿度、着衣量和运动量六项。其中,我们在设计室内环境时,可考虑对其进行调整的因素仅有空气温度、热的辐射、气流和湿度四项。余下的两项,即着衣量和运动量因人而异,无法做一般性的调整,因此,在设计时,应当考虑到房间的用途和用户性格等因素。为了评价综合了上述诸因素的温热环境,一般可利用以下标准。

新有效温度 ET^* (New Effective Temperature Scale) 它是在几乎感觉不到气流(0.2m/s 以下),且墙壁、地板、天花板等的表面温度与室温变化不大的房间内,以穿少量衣服(0.6clo)静坐(1met)的人为对象进行温热环境评价的标准。根据前述理由,人在干球

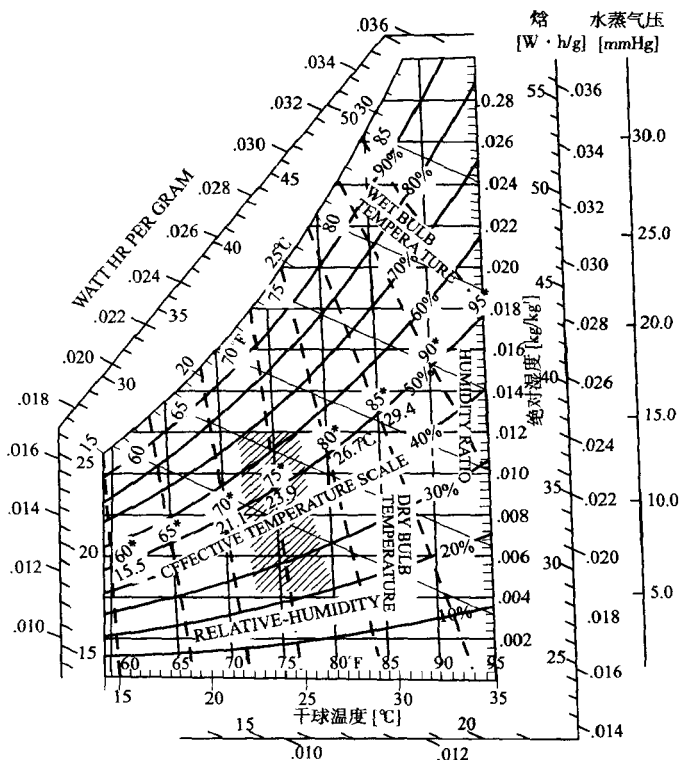


图2 新有效温度尺度(ET*)^[1]

温度(即用普通温度计可以测量到的温度)相同条件下,如湿度较高,也会感到闷热。新有效温度 ET^* 是用干球温度变化来代替表示湿度变化带给人对温热感觉的影响,简单的说, ET^* 就是“加上湿度影响的空气

温度”。湿度为 50% 时的空气干球温度值就是 ET^* 的值,但是湿度上升会引起干球温度下降,若湿度降低,不提高干球温度,则不能得到相同 ET^* 。这种关系如图 2^[1] 所示。若温热环境在图中斜线部分之内,则会使人感到舒适。

作用温度 t_o (Operative Temperature) 辐射热的变化影响人对温热的感觉。用于球温度的变化来表现的,就叫作用温度。利用室内表面总面积、表面温度以及空气湿度等因素,可由下式得出作用温度的估算值

$$\text{作用温度} = \frac{\text{空气温度} + \text{平均辐射温度}}{2} \quad (4)$$

平均辐射温度的估算值作为表面温度的面积总和平均值,可由下式得出:

$$\text{平均辐射温度} = \frac{\sum (\text{室内各表面面积} \times \text{表面温度})}{\text{表面总面积}} \quad (5)$$

PMV (Predicted Mean Vote) 在进行有关温热环境的调整时,常用到以下衡量标准:

- | | | | |
|----|------------------|----|----------------|
| +3 | 热 (hot) | +2 | 温暖 (warm) |
| +1 | 稍暖 (slight warm) | 0 | 不冷不热 (neutral) |
| -1 | 稍凉 (slight cool) | -2 | 凉 (cool) |
| -3 | 冷 (cold) | | |

所谓 PMV,就是多个人利用上述 7 个衡量标准评价某房间温热环境时,对大家所给出的评价进行平均得出的估计值。在湿度为 50% 的场合,若给出运动量、着衣量、作用温度和气流速度,即能求出 PMV,其值如表 1^[2] 所示。评价温热环境的标准,除此之外,还有其他许多种评价方法。

表 1 PMV(Predicted Mean Vote)^[2]

着衣量 [clo]	室温 [℃]	气流速度[m/s]			
		<0.1	0.2	0.3	0.4
0.5	23	-1.1	-1.51	-1.78	-1.99
	24	-0.72	-1.11	-1.36	-1.55
	25	-0.34	-0.71	-0.94	-1.11
	26	0.04	-0.31	-0.51	-0.66
	27	0.42	0.09	-0.08	-0.22
	28	0.80	0.49	0.34	0.23
	29	1.17	0.90	0.77	0.68
	30	1.54	1.30	1.20	1.13
0.75	21	-1.11	-1.44	-1.66	-1.82
	22	-0.79	-1.11	-1.31	-1.46
	23	-0.47	-0.78	-0.96	-1.09
	24	-0.15	-0.44	-0.61	-0.73
	25	0.17	-0.11	-0.26	-0.37
	26	0.49	0.23	0.09	0.00
	27	0.81	0.56	0.45	0.36
	28	1.12	0.90	0.80	0.73
1.00	20	-0.85	-1.13	-1.29	-1.41
	21	-0.57	-0.84	-0.99	-1.11
	22	-0.30	-0.55	-0.69	-0.80
	23	-0.02	-0.27	-0.39	-0.49
	24	0.26	0.02	-0.09	-0.18
	25	0.53	0.31	0.21	0.13
	26	0.81	0.60	0.51	0.44
	27	1.08	0.89	0.81	0.75

实现什么样的指标才能获得舒适的温热环境

美国冷暖空调工程师协会(ASHRAE)曾发布过如图 3^[3]所示的“ASHRAE 从业人员舒适线图”,该图在日本设计温热环境时也被广泛应用。该图是把在办公

1.1 理想的温热环境