

人与室内环境

S·A·康 兹 合著
魏 润 柏



中国建筑工业出版社

人与室内环境

S. A. 康兹
魏 润 柏 合著

中国建筑工业出版社

本书阐述了人与室内环境的关系。特别着重于各种不同环境对人的影响以及人对环境的反应。全书共分六章，分别介绍了人与热、声、光、毒物、工作和服装等不同环境的关系。每章都有例题和习题，可供读者练习。

本书可以作为高等院校工业工程、环境工程、暖通空调、建筑物理和工业卫生等专业的教学用书，也可供这些专业的科学研究人员或工程技术人员参考。

人与室内环境

S. A. 康兹 合著
魏 润 柏

*

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 1/32 印张：6 字数：132 千字

1985年11月第一版 1985年11月第一次印刷

印数：1—14,600册 定价：1.30元

统一书号：15040·4888

前 言

本书是中国上海同济大学魏润柏先生于1982年11月至1984年11月在美国堪萨斯州立大学期间所取得的成果之一。在环境研究所工作时，魏先生决定通过这本书，把他的部分知识带回到中国去。《人与室内环境》一书是我们之间友谊和合作的结果。

本书阐述各种不同环境对人的影响。书中提出了一些具体原则和实例，用于改善工业企业中人的工作条件，从而提高生产效率。本书基于科学理论，但侧重工程设计和实际应用。

本书共有六章，涉及了人与六种不同环境的关系。

第一章（人与热环境）包括热舒适环境、过热环境和过冷环境；

第二章（人与听觉环境）包括耳、噪声及其对人的影响和噪声控制；

第三章（人与视觉环境）包括眼、照度和保护视力；

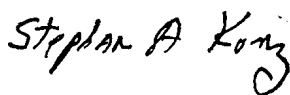
第四章（人与有毒环境）包括毒物、毒物进入体内以及被消除和控制毒物进入人的呼吸系统；

第五章（人与工作环境）包括工程人体测量学和使工作环境适合于人的十六条基本设计原则；

第六章（人、服装、热环境）包括影响服装热绝缘值的因素、服装热绝缘值的测量和计算。Dr.Elizabeth A.

McCullough (美国堪萨斯州立大学) 撰写了这一章。
我希望这本书将在中国的现代化建设中发挥作用。

Stephan A. Konz

A handwritten signature in black ink that reads "Stephan A. Konz". The script is cursive and fluid, with the first name "Stephan" and last name "Konz" clearly legible.

博士、教授

1984年11月1日于美国堪萨斯州立大学

FOREWORD

This book is one of the results of the visit of Prof. Runbai Wei of Tongji University, Shanghai, The People's Republic of China, to Kansas State University, the United States, between November 1982 and November 1984. While working at the Institute of Environmental Research, Prof. Wei decided to bring some of his knowledge back to China through a book. This book, Man and the Environment, is a result of our friendship and collaboration.

This book focuses on the effect of various environments on the human. It gives specific principles and examples so that working conditions of industrial workers can be improved. Although the text is firmly rooted in science, its emphasis is in design and application.

There are six chapters covering man and various environments.

Chapter 1 (Man and the Thermal Environment) covers thermal comfort, heat stress and cold stress.

Chapter 2 (Man and the Auditory Environment) covers the ear, noise, the effects of noise, and noise reduction.

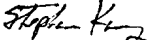
Chapter 3 (Man and the Visual Environment) covers the eye, illumination and reduction of visual problems.

Chapter 4 (Man and the Toxic Environment) covers poisons, poison input routes, targets and elimination, and control of respiratory hazards.

Chapter 5 (Man and the Working Environment) covers engineering anthropometry and 16 design guides for the workstation.

Chapter 6 (Man, Clothing and the Thermal Environment) covers the factors affecting clothing insulation, measurement and calculation of clothing insulation values. Dr. Elizabeth A. McCullough wrote this chapter.

I hope this book will play a role in China's development.


Stephan A. Korf
Doctor and Professor
November 1, 1984
Kansas State University
U.S.A.

目 录

第一章 人与热环境	1
第一节 热舒适环境	1
第二节 过热环境	10
第三节 过冷环境	22
第二章 人与听觉环境	29
第一节 耳与听觉	29
第二节 噪声及其测量	32
第三节 噪声对人的影响	38
第四节 噪声控制	46
第三章 人与视觉环境	56
第一节 眼与视觉	56
第二节 光和照度的一些基本概念	63
第三节 保护视力	65
第四节 照度计算	77
第四章 人与有毒环境	96
第一节 毒物	96
第二节 毒物进入体内的途径	98
第三节 内脏和皮肤反应	100
第四节 毒性的消除	102
第五节 有毒物质的极限值 (TLV)	104
第六节 减少有毒物质进入人的呼吸系统	109
第五章 人与工作环境	115
第一节 工程人体测量学	115

第二节 建立适应于人的工作环境	121
第六章 人、服装、热环境	162
第一节 影响服装热绝缘值的因素	163
第二节 服装热绝缘值的测定	164
第三节 确定单件服装的热阻值	166
第四节 确定服装组合的热阻值	178
主要参考文献	181

第一章 人与热环境

第一节 热舒适环境

美国采暖、制冷和空气调节工程师学会 (ASHRAE) 把热舒适环境定义为：人在心理状态上感到满意的热环境。热舒适环境取决于六个主要因素。其中四个与环境有关：干球温度、空气中的水蒸汽分压力、空气速度和辐射温度；另外两个与人有关：新陈代谢率和服装。当然，热舒适还与其他一些次要因素有联系。例如大气压力、人的肥胖程度、人的汗腺功能等等。在以下的讨论中，这些次要因素都未予考虑。

图 1-1 给出了空气调节工程中常用的温湿图。水平轴为干球温度 ($^{\circ}\text{C}$)；右面的垂直轴为水蒸汽分压力 (mm Hg)；左面的垂直轴为相对湿度线 (%) 的起端；左上部的曲线上标有湿球温度值 ($^{\circ}\text{C}$)，不同的湿球温度值由不同的斜线表示；图中的虚线称为“有效温度 ET ” ($^{\circ}\text{C}$)。

假定干球温度为 25°C ，水蒸汽分压力为 15mmHg ，则可在图 1-1 上找到一个交点。该点的其他参数是：相对湿度为 64%；露点温度为 17.5°C ；湿球温度为 20°C ；可以想象有一条虚线通过这一点，该虚线在相对湿度 100% 线上读到有效温度 ET 为 24°C ；该虚线在相对湿度 50% 线上得到一个交点，其水平坐标轴的值称为“新有效温度 ET^* ”，读数为 25.5°C 。

在温湿图上有一个阴影区，称为舒适区。这是经过几千名受实验者的投票统计，才得到了这个舒适区的位置。

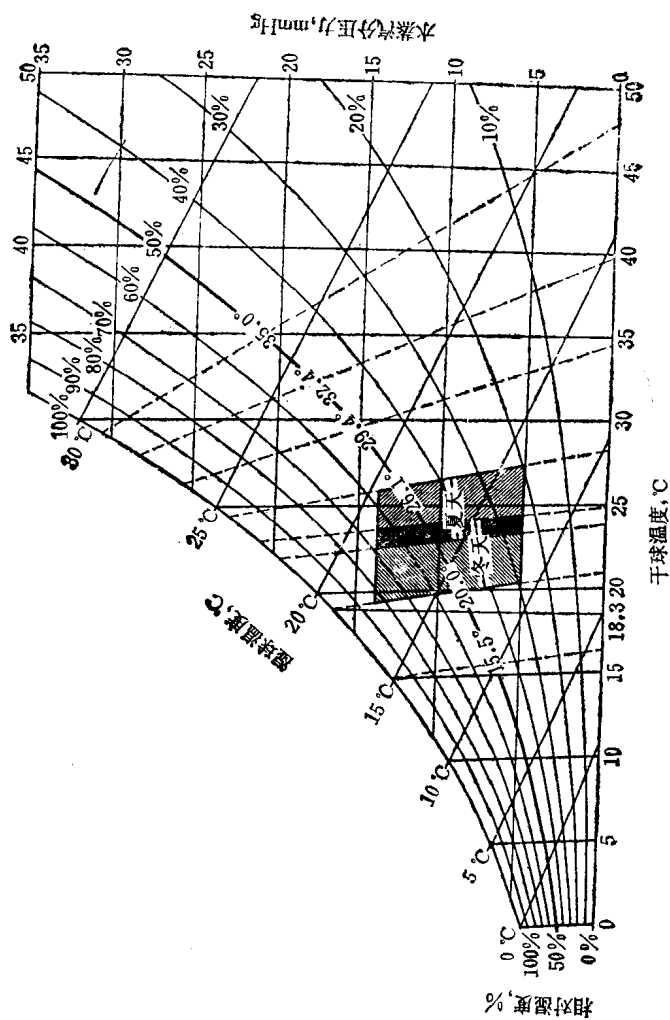


图 1-1 温湿图与舒适区

在实验过程中，用数字规定了温度的高低情况。冷=1；凉=2；稍凉=3；舒适=4；稍暖=5；暖=6；热=7。

下列公式可以预测人对热环境的反应。

$$TS = -1.047 + 0.158ET^* \quad ET^* < 20.7 \quad (1-1)$$

$$TS = -4.444 + 0.326ET^* \quad 20.7 < ET^* < 31.7 \quad (1-2)$$

$$TS = 2.547 + 0.106ET^* \quad ET^* > 31.7 \quad (1-3)$$

这些公式适用于人在室内坐着工作，例如阅读、书写或办公等等，以及人所穿的服装的热阻值为0.6clo。

$$1\text{clo} = 0.155\text{m}^2 \cdot \text{K/W} = 0.043\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K/kJ}$$

在这个狭小的交叉线阴影区内，1600名受实验者没有一个人感觉到热（7）或冷（1）；6%的人感觉到暖（6）或凉（2）；绝大多数人，即94%，感到稍暖（5）或舒适（4）或稍凉（3）。平均投票统计值为4.0，标准偏差为0.7。

在某一热环境中，不满意该环境的人数的百分比（PPD%）是可以计算出来的。这里说的“不满意”是指投票投冷（1）、凉（2）、暖（6）或热（7）。为了计算PPD%的值，有两种可能情况。

对于冷的情况（ $ET^* < 25.3$ ）：

$$CSIG = 10.26 - 0.477ET^* \quad (1-4)$$

对于热的情况（ $ET^* > 25.3$ ）：

$$HSIG = -10.53 + 0.344ET^* \quad (1-5)$$

式中 CSIG——对于冷的情况的标准偏差值；

HSIG——对于热的情况的标准偏差值；

ET^* ——新有效温度，°C。

例如，当 $ET^* = 18^\circ\text{C}$ ， $CSIG = +1.67$ 。由正态分布表（表1-1）查得，有95%的人不满意该环境。当 $ET^* = 30^\circ\text{C}$ ， $HSIG = -0.21$ ，有42%的人不满意该环境。

正 态 分 布 表

表 1-1

z	0	1	2	3	4
0.0	.0000	.0040	.0080	.0120	.0130
0.1	.0398	.0438	.0478	.0517	.0557
0.2	.0793	.0832	.0871	.0910	.0948
0.3	.1179	.1217	.1255	.1293	.1331
0.4	.1554	.1591	.1628	.1664	.1700
0.5	.1915	.1950	.1985	.2019	.2054
0.6	.2258	.2291	.2324	.2357	.2389
0.7	.2580	.2612	.2642	.2673	.2704
0.8	.2881	.2910	.2939	.2967	.2996
0.9	.3159	.3186	.3212	.3238	.3264
1.0	.3413	.3438	.3461	.3485	.3508
1.1	.3643	.3665	.3686	.3708	.3729
1.2	.3849	.3869	.3888	.3907	.3925
1.3	.4032	.4049	.4066	.4082	.4099
1.4	.4192	.4207	.4222	.4236	.4251
1.5	.4332	.4345	.4357	.4370	.4382
1.6	.4452	.4463	.4474	.4484	.4495
1.7	.4554	.4564	.4573	.4582	.4591
1.8	.4641	.4649	.4656	.4664	.4671
1.9	.4713	.4719	.4726	.4732	.4738
2.0	.4772	.4778	.4783	.4788	.4793
2.1	.4821	.4826	.4830	.4834	.4838
2.2	.4861	.4864	.4868	.4871	.4875
2.3	.4893	.4896	.4898	.4901	.4904
2.4	.4918	.4920	.4922	.4925	.4927
2.5	.4938	.4940	.4941	.4943	.4945
2.6	.4953	.4955	.4956	.4957	.4959
2.7	.4965	.4966	.4967	.4968	.4969
2.8	.4974	.4975	.4976	.4977	.4977
2.9	.4981	.4982	.4982	.4983	.4984
3.0	.4987	.4987	.4987	.4988	.4988
3.1	.4990	.4991	.4991	.4991	.4992
3.2	.4993	.4993	.4994	.4994	.4994
3.3	.4995	.4995	.4995	.4996	.4996
3.4	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997
3.5	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998
3.6	.4998	.4998	.4999	.4999	.4999
3.7	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999
3.8	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999
3.9	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000

续表

z	5	6	7	8	9
0.0	.0199	.0239	.0279	.0319	.0359
0.1	.0598	.0636	.0675	.0714	.0754
0.2	.0987	.1026	.1064	.1103	.1141
0.3	.1368	.1406	.1443	.1480	.1517
0.4	.1736	.1772	.1808	.1844	.1879
0.5	.2088	.2123	.2157	.2190	.2224
0.6	.2422	.2454	.2486	.2518	.2549
0.7	.2734	.2764	.2794	.2823	.2852
0.8	.3023	.3051	.3078	.3106	.3133
0.9	.3289	.3315	.3340	.3365	.3389
1.0	.3531	.3554	.3577	.3599	.3621
1.1	.3749	.3770	.3790	.3810	.3830
1.2	.3944	.3964	.3980	.3997	.4015
1.3	.4115	.4131	.4147	.4162	.4177
1.4	.4265	.4279	.4292	.4306	.4319
1.5	.4394	.4406	.4418	.4429	.4441
1.6	.4505	.4515	.4525	.4535	.4545
1.7	.4599	.4608	.4616	.4625	.4633
1.8	.4678	.4686	.4693	.4699	.4706
1.9	.4744	.4750	.4756	.4761	.4767
2.0	.4798	.4803	.4808	.4812	.4817
2.1	.4842	.4846	.4850	.4854	.4857
2.2	.4878	.4881	.4884	.4887	.4890
2.3	.4906	.4909	.4911	.4913	.4916
2.4	.4929	.4931	.4932	.4934	.4936
2.5	.4946	.4948	.4949	.4951	.4952
2.6	.4960	.4961	.4962	.4963	.4964
2.7	.4970	.4971	.4972	.4973	.4974
2.8	.4978	.4979	.4979	.4980	.4981
2.9	.4984	.4985	.4985	.4986	.4986
3.0	.4989	.4989	.4989	.4990	.4990
3.1	.4992	.4992	.4992	.4993	.4993
3.2	.4994	.4994	.4995	.4995	.4995
3.3	.4996	.4996	.4996	.4996	.4997
3.4	.4997	.4997	.4997	.4997	.4998
3.5	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998
3.6	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999
3.7	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999
3.8	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999
3.9	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000

对于 $ET^*=25.3$ 的环境, 当人们坐着工作, 身穿 $0.5 \sim 0.6 \text{ clo}$ 的服装, 只有 6 % 的人感到不满意。当人们身穿服装的 clo 值改变时, 只有 6 % 的人不满意的 ET^* 值就不是 25.3°C 了, 其变化关系为:

$$ET^*_6 = 29.75 - 7.27 (ICL) \quad (1-6)$$

式中 ET^*_6 ——有 6 % 的人不满意的 ET^* 值;

ICL ——服装总的热阻值, clo ;

$$ICL = 0.82 (\sum ICLI)$$

$ICLI$ ——各别服装的热阻值, clo 。参阅表 1-2。

例如, 当人们身穿 0.8 clo 时, 只有 6 % 的人不满意的 $ET^*_6 = 23.9^\circ\text{C}$; 当人们身穿 0.95 clo 时, 只有 6 % 的人不满意的 $ET^*_6 = 22.8^\circ\text{C}$ 。

对于一般的办公室工作人员, 美国以前的标准是身穿 $0.7 \sim 1.0 \text{ clo}$ 。但是现在的标准是 $0.5 \sim 0.7 \text{ clo}$ 。表 1-3 给出了男子和女子不同的服装组合的 clo 值。

靠出汗散热, 并不舒适。潮湿的皮肤, 引起人们在心理状态上的不满意。室内热环境工程师应该考虑到这一点。

在热舒适环境中

$$T_{sk} = 35.7 - 0.0276M \quad (1-7)$$

$$E_{sk} = 0.42(M - 58) \quad (1-8)$$

式中 T_{sk} ——皮肤平均温度, $^\circ\text{C}$;

M ——新陈代谢率, W/m^2 ;

E_{sk} ——汗的蒸发率, W/m^2 。

各别因素对热舒适的影响如下:

1. 服装

一般概念是, 人的服装每增加 0.1 clo , 相当于环境温度增加 0.6°C 。进一步研究指出, 当人的新陈代谢率低于 225 W ,

常用服装的热阻值, clo

表 1 2

男 子		女 子	
服 装	clo	服 装	clo
内衣内裤			
汗 背 心	0.06	乳罩加短裤	0.05
汗 衫	0.09	短 内 裙	0.13
短 裤	0.05	长 内 裙	0.19
长袖内衣	0.10	长袖内衣	0.10
长 内 裤	0.10	长 内 裤	0.10
衬 衫			
薄的短袖衬衫	0.14	薄 衬 衫	0.20
长袖衬衫	0.22	厚 衬 衫	0.29
厚的短袖衬衫	0.25	薄的连衣裙	0.22
长袖衬衫	0.29	厚的连衣裙	0.70
(领带加5%)			
薄 马 夹	0.15	薄 短 裙	0.10
厚 马 夹	0.29	厚 短 裙	0.22
薄 裤 子	0.26	薄 裤 子	0.10
厚 裤 子	0.32	厚 裤 子	0.44
薄绒线衫	0.20	薄绒线衫	0.17
厚绒线衫	0.37	厚绒线衫	0.37
薄 外 套	0.22	薄 外 套	0.17
厚 外 套	0.49	厚 外 套	0.37
袜 子		长 袜	
短 袜	0.04	一般长袜	0.01
长 袜	0.10	连裤长袜	0.01
鞋 子		鞋 子	
凉 鞋	0.02	凉 鞋	0.02
皮 鞋	0.04	皮 鞋	0.04
靴 子	0.08	靴 子	0.08

服装每增加0.1clo (从人穿0.6clo起), 相当于环境温度增加0.6°C; 当人的新陈代谢率高于225W, 服装每增加0.1clo, 相当于环境温度增加1.2°C。

不同服装组合的clo 值

表 1-3

男 子	clo
衬衫和裤子	0.51~0.65
针织衬衫和裤子	0.48~0.76
绒衣和裤子	0.60~0.75
衬衫、绒线衫和裤子	0.81~0.90
衬衫、外套和裤子	0.89~1.00
女 子	
衬衫和裙子	0.33~0.51
连 衣 裙	0.21~0.71
连衣裙和衬衫	0.32~0.73
绒线衫和裙子	0.40~0.68
衬衫、绒线衫和裙子	0.42~0.80
衬衫、外套和裙子	0.45~0.80
衬衫和裤子	0.51~0.82
绒线衫和裤子	0.58~0.89

2. 活动

当人的新陈代谢率大于115W, 每增加30W, 相当于环境温度增加1.7°C。相对湿度应该控制在60%以下, 以便人体汗分的蒸发。

3. 空气速度

室内空气速度在0.6m/s以下, 每增加0.1m/s, 相当于环境温度增加0.3°C; 室内空气速度在0.6m/s至1.0m/s之间, 每增加0.1m/s, 相当于环境温度增加0.15°C。一般室内空气的流速应该控制在0.7 m/s以下。空气可以来自人体的前方、后面、侧向、上部或下部。空气来自上部与人体向

上散热是相向作用的，在室内造成紊流。空气来自下部，则在室内形成层流。来自下部的采暖热空气，温度宜偏低些；来自上部的致冷空气，温度宜偏高些。空气速度的波动要比空气速度平均值的大小对人的不舒服影响更大。对于坐着的轻工作，室内空气速度应在 $0.2\sim 0.3\text{m/s}$ 之间。最大空气速度为 1m/s 。对于间歇的以及有体力强度的工作，室内空气速度可在 $5\sim 10\text{m/s}$ 范围内。最大空气速度为 20m/s 。局部致冷的空气流速宜在 $0.5\sim 1.5\text{m/s}$ 范围内。

4. 平均辐射温度

平均辐射温度与室内空气干球温度每差别 1°C ，则应向相反方向改变干球温度 1°C 。例如，当平均辐射温度是 25°C 时，空气温度 25°C 是舒适温度。如果平均辐射温度变成 27°C ，则空气干球温度应该是 23°C 。

5. 室内停留时间

所有的实验研究数据，都是基于受实验者在室内停留三小时以后的投票结果。在三小时以内，人对热环境的感觉会有一些不同。但在三小时以后，人对热环境感觉的变化就不明显了。

6. 一天中的24小时

虽然人的体温在一天24小时内是变化的，并且呈周期性变化。但是人对热环境的感觉却不随体温的变化而变化。

7. 一年中的不同季节

使得许多人感到奇怪的是，人对舒适温度的要求，实际上是不随季节变化而变化的。当然，前提是人的服装和活动情况要相同。

冬季室内空气调节要考虑到湿度问题。尽管冬季室外空气的相对湿度可能较高，例如达 80% ，但是绝对湿度较低，