

房间的热微气候

[匈] L. 巴赫基 著
傅忠诚 等译



中国建筑工业出版社

86.363
8705615

房间的热微气候

按照人的热感觉计算舒适参数

[匈] L.巴赫基 著

傅忠诚 等译

中国建筑工业出版社

本书系根据苏联莫斯科建筑出版社1981年出版的《房间的热微气候》一书翻译而成，原书系匈牙利作者Bánhidi László博士1976年所著。

本书研究居住、公共和工业建筑房间内人的热舒适和热感觉问题。介绍了选择热微气候参数的理论基础和工程原理，以便计算房屋围护结构、供暖、通风和空气调节系统。

本书可供从事暖通空调、建筑热物理、建筑热能工程、劳动生理学方面的科学工作者、工程技术人员和高等学校有关专业的师生使用参考。

Zárt terek

hőérzeti

méretezése

Bánhidi László

Перевод с венгерского

В.М.Баляева

Тепловой

микроклимат

помещений

Москва Стройиздат 1981

* * *

房间的热微气候

傅忠诚 等译

*

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

北京市平谷县大华山印刷厂印刷

*

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 9¹/₂ 字数: 255千字

1987年5月第一版 1987年5月第一次印刷

印数: 1—6,450册 定价: 2.55元

统一书号: 15040·5166

译 者 前 言

本书系根据苏联莫斯科建筑出版社1981年出版的《房间的热微气候》(Тепловой микроклимат помещений)一书翻译而成。原书系匈牙利作者Bánhidí László 博士1976年所著。

全书共分十四章,从历史及现状,从热工学、生理学及心理学,从理论分析及实验室和现场研究等各方面,系统地介绍了居住建筑、公共建筑和工业建筑内人的热舒适和热感觉的评价标准、计算方法、实验室和现场研究的测试方法及成果分析。书中还介绍了著名的美国堪萨斯大学和丹麦工业大学的最完善的微气候室和П.О.Фангер教授(丹麦工业大学)的热舒适计算方法。本书的特点是具有明确的实用性。

本书所用角标,均为原俄文角标。为便于我国读者阅读,译者增加了主要符号表。书中同时采用公制及国际制两种单位,对照使用。

参加本书翻译的有:傅忠诚(第一、二、九章);艾效逸(第三、四章);王天富(第五章);孙祥泰(第六、十章);姜永顺(第七、八章);丁崇功(第十一章);陈葆满(第十二章);胡泊(第十三、十四章)。译稿由傅忠诚、王天富、艾效逸校核。最后由傅忠诚作全书统稿。

限于水平,翻译错误或不当之处在所难免,请读者批评指正。

译者1985.12.西安

俄 文 版 序 言

人80%以上的生活是在房间里渡过的：在家里，上班，在交通工具里。人的健康，自身感觉及工作能力在很大程度上决定于房间的热舒适状况。热舒适问题决定着房屋围护结构、供暖系统、通风和空气调节的选择。这些重要问题正是匈牙利作者Ласло Банхиди这本书所要阐述的内容。

作为建筑科学的新方向，热舒适问题正发展为热工学、建筑物理学和生理学的边缘科学。这个新方向的研究任务是确定微气候参数组合的最佳范围和允许范围；根据人的热感觉评价新的建筑和建筑设计方案；查明微气候调节系统的最佳工况；确定在热微气候影响下提高脑力劳动和体力劳动能力的可能性；深入研究房间热微气候的控制仪表及设备。书中相当全面地介绍了所研究问题的历史及现状。

最初，以热感觉作为热舒适的标准，主观地评价热环境。曾对数以千计的人进行了调查，对调查结果进行了复杂的统计整理。只以容易控制的空气温度作为确定的微气候参数。那时，传统的密实的围护结构保证了建筑物良好的热稳定性。在多数情况下，仅控制一个参数即空气温度就足够了。今天在我国（指苏联）空气温度仍然是基本的标准参数。

为了模拟各种体力劳动及脑力劳动环境，创造了专门的微气候室、仪表及设备，使之能够不仅查明空气温度对人体的影响，同时还能查明墙及周围物体温度、空气的相对湿度及流动情况、热辐射、声响、空气的化学组成、光照等对人体的影响。

书中介绍了美国堪萨斯州立大学和丹麦工业大学的最完善的微气候室。

在原书作者领导下，在匈牙利建成了技术上现代化的微气候室，建造时充分吸取了世界各国的经验，消除了现有微气候室的许多缺点。该微气候室装备了现代化技术和现代化生理学仪器和设备。记录在磁带上的大量信息资料在电子计算机上作进一步处理。

大量统计资料的积累以及生理学的成就，使我们能够预报各种热状态下的舒适程度。作者认为，应把80%的人感到满意的热状态作为舒适条件。

书中用大量篇幅评论和分析了进行热舒适计算的各种关系，这些关系是以分析人体的热平衡为基础的。作者详细地研究了人体的显热散热（对流、辐射及传导）和潜热散热（蒸发）。

蒸发散热又分为“看不见”的蒸发和出汗的蒸发。出汗从周围空气温度为 $28\sim 29^{\circ}\text{C}$ 开始，到蒸发散热达到稳定为止。在大多数情况下，为使计算简化，将潜热散热并入显热散热的研究之中。

在许多计算热舒适条件的方法中，作者侧重介绍了П.О.Фангер教授（丹麦工业大学）的方法。但是，应当指出，Фангер提出的方法在考虑到这样一些情况，如人的适应性及人的民族特点时，需要进行修正。

在研究工作中，反映出周围物体温度与围护结构内表面温度对人体散热有很大影响。目前，辐射板供暖与供冷系统的广泛采用，以及新式建筑和建筑设计方案（轻型结构建筑、流行的玻璃墙面等），要求考虑房间的平均辐射温度。房间辐射温度是一个待确定的参数，当存在许多与来自热表面（材料及设备）的热辐射有关的工艺过程时，显然，房间的平均辐射温度同空气温度、空气的相对湿度和气流速度一样，应该规定它的标准值。

由微气候室得到的资料计算关系需要在实际设施中进行检验。在幼儿设施和教育设施、居住建筑和公用建筑以及工厂企业中进行的微气候调查比在研究室中进行的十年试验更有意义。对问题进行深入研究的科学态度，对人的热舒适问题所进行的详细

的生理学论证，是该书无可置疑的优点。

该书的特点是具有明确的实用性；大量的参考表格、线图、插图、计算例题、切合实际的设计论述，使该书成为一本有实用价值的参考书。

科学技术博士 В.И.Прохоров

科学技术副博士 А.Л.Начмов

原 书 序 言

近年来，人在房间中的热感觉计算已具有十分重要的意义。尽管常常把人的热感觉和舒适感视为同一概念，但是，舒适感具有更广泛的含义，其中包括作为人的热状态指标的热感觉在内。人的热感觉借助于某些技术手段可在较大的范围内得到调节。在技术发达国家对人的热感觉进行了深入的研究。这是一个年青的迅速发展的知识领域。

50年代以前，室内微气候是利用供暖系统来维持的，在许多情况下也采用了通风。而对空气条件要求很高的房间，则安装了空气调节系统。供暖系统容量的选择是根据房间所需保证的空气温度来进行的。通风系统和空气调节系统则应保证人们活动的地区所必需的气流速度。

对空气温度和气流速度的要求，是在实验室研究的基础上，对生理学进行深入研究后提出的，在大多数情况下这些要求满足了人们愉快的热感觉。密实型的围护结构和保温窗不大的建筑物，即使是在室外空气温度急剧波动和太阳辐射强烈时，也能使房间保持稳定的热状态。因此，在大多数房间中微气候的唯一控制参数是空气温度。这一时期的突出特点是，保证适当的微气候的任务是依靠房屋工程设备专家们来解决，实际上并不依赖建筑工作者和建筑师。

然而，随着轻型结构在建筑上的应用，随着建筑物窗子面积的增大，随着新的建筑设计方案的应用，出现了人的热感觉与对房间微气候的传统要求不相适应的情况。在新的建筑和建筑设计方案已得到广泛应用的美国、日本、西欧各国，已开始了对人的热感觉的广泛研究。

研究一开始就明确指出，人体热感觉的复杂问题应该由生理学家、卫生学家、微气候调节领域的专家、建筑工作者和建筑学专家们协同解决，往往还吸引了心理学家来参加研究。

只有上述这些专家们共同努力才能设计和建造满足人们热舒适要求并且是最经济的建筑物。

在许多个实验室中开始了人的热感觉的研究，并已达到新的水平。直接参加研究的有微气候调节专家，与此同时还建立了专门的热感觉试验室。其中，有现已闻名世界的由Невинс教授领导的堪萨斯大学实验室和由Фангер教授领导的哥本哈根大学的实验室。当前，由于节能的迫切性，这个问题已变得非常尖锐。

在社会主义国家，其中包括匈牙利在内，解决人的热感觉问题开始于60年代。匈牙利以它自己的建筑风格而驰名，国内建筑业发展迅速。但是，广泛采用新的建筑材料、不考虑保证建筑物的热力状态的建筑设计方案，导致了一系列不能满足室内微气候条件的情况出现。应该注意到建筑地区的气候特征，以及当地建筑的经济特点和建筑物的经营管理具有决定性的作用。有的地方还有这种情况，当建筑物采用隔热性能差的材料设计时，计算中要考虑采用昂贵的微气候的空调设备。而在执行该设计时，由于经济方面的原因，无法采用此种空调设备，结果会出现夏季过热和冬季过冷的现象。遗憾的是，在建筑业中这种倾向还十分顽固，由此，或是认为根本不需要注意人的热感觉，或是认为所有问题都能由建筑热工计算解决。另一方面，应该事先由正式途径来计算热感觉。有时，专家们采用的热感觉计算方法，明显地不能用于解决某些问题。应该把注意力转向那些在文献中，特别是在国外文献中没有全部给出的正确描述计算方法所应具备的条件和文献没有指出的计算方法的应用场合。而有些作者没有根据地推测他们的方法是普遍适用的。因此，对具体设计任务选择热感觉计算方法时应该批判地分析所有的可能性。

重要的问题之一是选择房间热舒适的程度。直至不久前，研究力量一直放在揭示微气候的最佳条件方面。但是，许多国家的

能源短缺，迫使人们去寻求热舒适的最佳经济方案。在许多情况下，对微气候参数的要求并不是十分硬性的。而且，在可容许的条件下，虽然与热舒适和生理学论据有所偏离，但却能得到明显的经济效益。

本书不是以解决房间中人体热感觉计算的全部问题为目的，它的任务是向微气候调节专家、建筑工作者和建筑学专家介绍所提出的热感觉问题，并概括地指出热感觉在生理学和心理学方面的问题，提供根据人体热感觉的计算来解决实际问题的可能性。仅就热感觉计算方法所必须的条件进行了理论上的整理。本书的第一部分介绍著名的热感觉计算方法的一般原理。第二部分介绍实际利用热感觉计算方法的可能性，根据建筑物的功能（居住建筑、公用建筑、工业建筑）整理成的资料。书中介绍了计算示例和各个问题的研究成果。在叙述热感觉的生理学原则时，介绍了研究结果，描述了有趣的实验，这些实验虽然不可能直接进行人体热感觉计算，但它有助于理解上述资料。

在概述中提到的一些热感觉计算方法，只可以用来解决一些小范围的专门问题。

书中对П.Фангер教授的研究成果和计算方法予以较大的注视。在Фангер教授的协助下，并以他的著作《热舒适》为依据，将资料编辑起来。由Фангер教授整理的人的热感觉计算方法在较大的范围内得到应用，它是最完善的方法之一，得到了全世界的公认。但是，这个计算方法不是没有缺点的，他的个别论点受到了来自心理学家的评论，Фангер教授本人也并不认为自己的方法已最后完成了，并正同他的助手们为研究工作取得进展而工作着。

物理参数的量纲采用传统的测量单位和国际单位制。实际上，书中所用一系列图表及线解图系采用原书图表。这些图表已在世界范围内得到应用。

本书的结构与传统的科技书籍有所不同，用大量篇幅阐述热感觉问题在生理学、心理学及科学技术方面相互的复杂关系。另

一方面，同所有新的科学领域一样，本书必须放弃寻所有问题的论述。不信纸是房屋的隔热性，还是微气候的调节，摆在专家们面前的问题是评价房间中人的热感觉和寻找最佳答案。

主 要 符 号 表

英文符号 名称 (俄文名称)

- $A_{\text{вн}}$ 内部镀银卡他温度计读值 (Показание кататермометра с внутренним серебрением)
- $A_{\text{нар}}$ 外部镀银卡他温度计读值 (Показание кататермометра с наружным серебрением)
- $A_{\text{с}}$ 干式卡他温度计的卡他值 (Показание сухого кататермометра)
- 湿式卡他温度计的读值 (Значение смоченного кататермометра)
- $A_{\text{в}}$ 湿式卡他温度计的卡他值 (Ката-величина влажного кататермометра)
- $A_{\text{пс}}$ 镀银卡他温度计的卡他值 (Показание посеребренного кататермометра)
- $A_{\text{р}}$ 辐射放热时的卡他值 (Показание кататермометра с лучистой теплоотдачей)
- C 辐射系数 (Коэффициент излучения)
- $C_{\text{абс}}$ 黑体的辐射系数 (Коэффициент излучения абсолютно черного тела)
- $d_{\text{в}}$ 吸入空气的绝对湿度 (Абсолютная влажность вдыхаемого воздуха)
- $d_{\text{вы}}$ 呼出空气的绝对湿度 (Абсолютная влажность выдыхаемого воздуха)
- e 辐射率 (Коэффициент излучения)

- E 热辐射强度 (Интенсивность теплового излучения)
- $E_{\text{с}}$ 辐射总能量 (Общее количество теплового излучения)
- F_E 垂直于法线方向的人体表面 (Поверхность человеческого тела, перпендикулярная нормали поверхности)
- $F_{\text{ч}}$ 人体表面积 (Площадь поверхности тела человека)
- $F_{\text{пл}}$ 地板表面积 (Поверхность пола)
- $F_{\text{пт}}$ 顶棚表面积 (Поверхность потолка)
- F_p 人体辐射表面积 (Излучающая поверхность тела человека)
- $F_{\text{а.р}}$ 辐射供暖板的面积 (Поверхность экрана излучателя)
- $F_{\text{..}}$ 物体有效辐射表面积 (Эффективная излучающая поверхности)
- $F_{D_{\text{в}}}$ «Дю—Буа» 表面积
- $P_{\text{в}}$ 饱和水蒸气分压力 (Парциальное давление водяных паров)
- Q_r 头部散热量 (Теплоотдача головы)
- $Q_{\text{х}}$ 通过皮肤经扩散散发的热量 (Выделяемое тепло через кожу путем диффузий)
- $Q_{\text{к}}$ 对流散热量 (Конвективная теплоотдача)
- $Q_{\text{х.к}}$ 呼吸时对流散热量 (Теплоотдача дыхания)
- $Q_{\text{с}}$ 总散热量 (Общая теплоотдача)
- $Q_{\text{п}}$ 调节温度时, 通过出汗散失的热量 (Отдаваемое тепло потения входе терморегуляции)
- Q_r 辐射散热量 (радиационная теплоотдача)
- $Q_{\text{с}}$ 潜热散热 (Скрытая теплоотдача)

- $Q_{с.а}$ 呼出空气的潜热散热 (Скрытое тепло выдыхаемого воздуха)
- $Q_{с.к}$ 皮肤表面的蒸发散热 (Теплоотдача путем с поверхности кожи)
- $Q_{я.д}$ 呼吸时显热散热量 (Явная теплоотдача при дыхании)
- $R_{с}$ 衣服表面的散热热阻 (Сопротивление теплоотдачи на поверхности одежды)
- $R_{о.д}$ 衣服的保温性能 (Изолирующая способность одежды)
- $t_{в}$ 空气温度 (Температура воздуха)
- $t_{в.п}$ 房间内表面温度 (Температура внутренних поверхностей помещения)
- $t_{г}$ 前额温度 (Температура лба)
- $t_{к}$ 皮肤温度 (Температура кожи)
- $t_{к.ср}$ 物体表面的平均温度 (Средняя температура поверхности тела)
- $t_{н}$ 室外温度 (Наружная температура)
- $t_{о}$ 折算温度 (Оперативная температура)
- $t_{о.р}$ 围护结构表面温度 (Температура ограждающих поверхностей)
- $t_{о.д}$ 人体与衣服表面的平均温度 (Средняя температура поверхности тела и одежды)
- $t_{о.п}$ 围护表面温度 (Температура окружающей поверхности)
- $t_{о.с}$ 环境温度 (Температура окружающей среды)
- $t'_{о}$ 变通折算温度 (Модифицированная оперативная температура)
- $t_{п.т}$ 顶棚温度 (Температура потолка)

- $t_{п.т.д}$ 顶棚表面的允许温度 (Допустимая температура поверхности потолка)
- $t_{р.с.}$ 最终温度 (Результирующая температура)
- $t_{р.пл}$ 地板表面的平均辐射温度 (Средняя радиационная температура поверхности пола)
- $t_{с.ш}$ 湿球温度 (Температура смоченного термометра)
- $t_{с.т}$ 外墙内表面温度 (Температура внутренних поверхностей стены)
或围护结构内表面温度 (Температура внутренних поверхностей ограждающих конструкций)
- $t_{т}$ 人体温度 (Температура тела)
- $t_{ч}$ 人体温度 (Температура тела человека)
- $t_{ш}$ 球体温度 (Температура шара)
- $t_{ш.с.ш}$ 湿球温度 (Температура смоченного шара)
- $t_{ш.я}$ 球体的显热温度 (Явная температура шара)
- $t_{э}$ 当量温度 (Эквивалентная температура)
- $t_{эээ}$ 当量有效温度 (Эквивалентная эффективная температура)
- $V_{в}$ 呼出空气量 (Количество выдыхаемого воздуха)
或空气的质量流量 (Массовый расход воздуха)
- $W_{п}$ 折算湿度 (Приведенная влажность)
- $\alpha_{в}$ 散热系数 (Коэффициент теплоотдачи)
- $\alpha_{к}$ 对流散热系数 (Коэффициент теплоотдачи конвекции)
- $\alpha_{р}$ 辐射换热系数 (радиационная коэффициент теплообмена)
- $\lambda_{о.д}$ 衣服的导热系数 (Коэффициент теплопроводности одежды)

- φ 或 Φ 辐射系数 (表面对半球面的角系数) (Коэффициент облучения)
- Φ 角系数 (人体对整个球面的辐射系数) (Угловой коэффициент)
- $\varphi_{\text{ч}}$ 人体辐射角系数 (Угловой коэффициент излучения тела человека)
- $\Phi_{\text{пл-пт}}$ 地板对顶棚的辐射系数 (Коэффициент облучения пола по отношению к потолку)
- $\Phi_{\text{пт-пл}}$ 顶棚对地板的辐射系数 (Коэффициент облучения потолка по отношению к полу)
- $\Phi_{\text{экр-пл}}$ 辐射供暖板对地板的辐射系数 (Коэффициент облучения экрана излучателя по отношению к полу)

目 录

主要符号表

第一章 人的热感觉	1
第一节 热感觉的概念	1
第二节 人体的产热量	2
第三节 人体散热的方式	12
第四节 人体与周围环境之间热交换的调节	16
第二章 人体显热和潜热交换的计算条件	24
第一节 显热交换的计算	24
第二节 潜热交换的计算	32
第三章 辐射换热	38
第一节 任意方位的两个物体间的辐射换热	39
第二节 辐射系数的概念	43
第三节 辐射系数的确定	46
第四节 人体的辐射系数(根据Фангер方法)	60
第四章 人的热状态指标	77
第五章 热感觉的计算方法	87
第一节 微气候指标	88
第二节 计算热感觉的线算图	110
第三节 Фангер的舒适方程式和图表	114
第四节 辐射供暖条件下的热感觉计算方法	136
第六章 热感觉标准值的确定方法	145
第一节 实验室的研究和现场的研究	145
第二节 研究热感觉的实验室	148
第三节 热感觉的实验室研究方法	152
第七章 现场条件下热感觉的测定	160
第一节 在装有分区辐射供暖设备的教学楼房间内确定 热感觉标准的现场试验	160