建筑室内物理环境设计指导丛书

室内热环境设计

刘加平　杨　柳　编著

机 械 工 业 出 版 社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

建筑物理环境在近年的建筑设计中日益受到重视，本丛书从建筑室内物理环境设计的角度进行阐述。本书是室内热环境设计，共分五章。首先简要回顾了建筑热环境设计的基本概念、知识和原理，进而从冬季室内热环境设计、夏季室内热环境设计和室内防潮设计各方面进行了阐述，最后对一些成功的案例作出剖析。考虑到注册建筑师的考试要求，本书特别注重了与现行相关设计规范和标准的衔接，编排上将冬季和夏季设计工况分开，便于建筑设计人员、工程管理人员随时查阅参考，利于解决工程设计实际问题。本书可供建筑设计人员、建筑师、热工专业人员、大中专院校师生、工程管理人员以及对室内热环境感兴趣的读者参考、查阅。

图书在版编目（CIP）数据

室内热环境设计/刘加平，杨柳编著. —北京：机械工业出版社，2005.4
（建筑室内物理环境设计指导丛书）
ISBN 7-111-16212-9

Ⅰ.室… Ⅱ.①刘…②杨… Ⅲ.建筑热工，室内热环境—建筑设计 Ⅳ.TU111.19

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2005）第 015105 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）
策划编辑：赵 荣 责任编辑：王黎庆 版式设计：霍永明
责任校对：张晓蓉 封面设计：张 静 责任印制：陶 湛

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 4 月第 1 版第 1 次印刷
787mm×1092mm 1/16·17.5 印张·432 千字
0001—4000 册
定价：39.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
本社购书热线电话（010）68326294
封面无防伪标均为盗版

前　言

建筑环境是人类为满足自身的不同需求而创造出的人工环境，是经过改造后的物质环境。尽管环境的构成要素依然是物质的，但从使用者对环境的主观感受而言，建筑环境分为生理环境和心理环境。人在不同行为状态下对环境有不同的生理需求，要求建筑室内空间满足其听觉、视觉、热感觉和健康的要求并力争达到舒适。建筑物理学是系统地研究建筑室内物理环境的原理和设计方法的一门学科。从人对环境的主观生理感受，建筑物理环境分为室内热环境、室内声环境、室内光环境以及室内空气品质等。从学科体系和建筑师如何通过设计手段实现对建筑物理环境的控制的角度，将建筑物理学分为建筑热工学、建筑声学、建筑光学和建筑环境设备工程学。人们已经习惯于将建筑生理环境称为建筑物理环境，大概是因为在西方语言中生理和物理词根同源、语义很近的缘故。

建筑室内热环境的舒适要求是人对建筑环境最基本的需求之一。不论何种建筑，在任何时间其室内空间的温度、湿度、气流速度和平均辐射温度都应该限定在一定的范围之内，这在严寒的冬季和酷热的夏季显得尤为重要。实现这种要求的途径是通过建筑设计的手段。建筑师应该明白，建筑空间的形态、比例及其构造、色彩、质地的变化，不但影响到使用者的心理，而且还伴随着其所设计和创作的建筑物室内、外物理环境的量场及生态属性的变化。比如，窗户的形式和构造不但影响着室内、外的视觉效果和天然采光系数，还决定着室内辐射温度的高低、日照的多寡和太阳辐射能的数量以及采暖、空调与照明的能耗量等。换句话说，建筑师在建筑设计过程中，不论理解或是乐意与否，在一个新的建筑方案完成后，其室内物理环境、心理环境和能耗指标也就确定了。在设计时对以上有所意识，建筑师就能创造出满足要求的物理和心理环境。缺乏有关物理环境和生态建筑设计的知识，在多数情况下，建筑室内物理环境是有缺陷的。这种融于建筑设计过程中的建筑环境设计技术是建筑师应该系统掌握的，国内、外建筑学术界习惯将其称为“被动式设计”的理论和方法。这是一类无法设立专业工程师的所谓的“建筑技术”，它融于建筑设计过程之中，如建筑物的形体选择、平面布局、空间组织、构造选材以及表面处理等，并可决定建筑室内热环境和建筑的能耗指标；而且将建筑热环境设计的知识和方法看作是建筑热工专业人员的专利是一种误解。任何舒适、健康的建筑室内环境，

任何绿色生态的建筑，都是通过建筑师之手实现的。这既需要建筑科学技术的研究人员充分考虑其研究成果在设计中应用的可行性，又需要建筑师具备消化和吸收技术研究成果于其设计理论和方法中的能力。

现代建筑的采暖、通风与空调控制技术可以实现任何需求的热环境指标，这是科学技术进步在人居环境科学领域的现实体现。但众所周知，其代价是消耗大量的能源，应该有节制地使用，尽管在相当长的时间内我们还必须依赖这种“让人欢喜，让人愁”的技术。

影响建筑室内热环境的主要因素包括室外气候条件和建筑围护结构的热工特性。因此，掌握必要的建筑传热的基础知识，了解不同地区的气候特征和设计计算条件，熟悉不同行为方式和衣着条件下人对热环境的需求是必须的。当然，作为人类最大的空间造型活动，建筑还应达到一定的艺术水准，还应该反映不同政治、经济、社会和文化背景之间的差异，这就需要建筑师具备协调处理相互矛盾的需求的能力。

本书由西安建筑科技大学刘加平博士和杨柳博士共同编写，全书共分为五章。首先简要回顾了建筑热环境设计的基本概念、知识和原理，进而从冬季室内热环境设计、夏季室内热环境设计和室内防潮设计各方面进行了阐述，最后对一些成功的案例作出剖析。考虑到注册建筑师的考试要求，本书特别注重了与现行相关设计规范和标准的衔接，编排上将冬季和夏季设计工况分开，便于建筑设计人员、工程管理人员随时查阅参考，以利于解决工程设计实际问题。

刘加平

2005 年元旦于西安建筑科技大学

目　录

前言

第一章　室内热环境设计理论基础 …… 1

第一节　室内热环境与人体舒适感 …… 1
一、人体冷热感与热舒适 …… 1
二、影响人体热舒适的因素 …… 4
三、室内热环境综合评价 …… 6
四、室内热环境测试 …… 8
第二节　室外气候因素 …… 12
一、日照与太阳辐射 …… 12
二、室外气温及变化规律 …… 20
三、综合温度——太阳辐射与空气温度的综合作用 …… 22
四、度日值 …… 25
五、室外空气湿度 …… 27
六、风 …… 29
七、建筑气候分区 …… 33
八、建筑热工设计分区 …… 36
九、被动式建筑设计分区 …… 37
第三节　建筑传热基本知识 …… 39
一、建筑中的热平衡 …… 40
二、传热方式 …… 41
三、围护结构传热过程 …… 53
四、建筑材料热物理性能 …… 58
第四节　室内热环境设计指标及节能标准 …… 69
一、建筑热工设计规范 …… 69
二、建筑节能设计指标 …… 72
三、自然通风条件下室内气候的综合评价 …… 76
四、空气调节设计标准 …… 78
五、室内湿环境设计相关规定 …… 79

第二章　冬季室内热环境设计 …… 81

第一节　建筑防寒概述 …… 81
一、我国寒冷地区范围与气候特征 …… 81
二、建筑防寒综合途径 …… 81
第二节　场地设计与防寒 …… 82
一、建筑选址原则 …… 83
二、综合设计途径 …… 84
第三节　建筑的体形与平面设计 …… 93
一、建筑外形设计 …… 93
二、房间朝向 …… 101
第四节　围护结构保温设计 …… 105
一、外墙保温设计 …… 106
二、屋面保温设计 …… 115
三、门、外窗保温设计 …… 119
四、特殊部位保温设计 …… 121
五、基础、地下室和地板设计 …… 123
第五节　日照设计 …… 126
一、日照的作用与建筑对日照的要求 …… 126
二、棒影日照图的基本原理及制作 …… 126
三、用棒影日照图求解日照问题 …… 128
第六节　太阳能采暖 …… 132
一、被动式太阳能采暖 …… 133
二、太阳能设计应用 …… 139
第七节　供热采暖系统 …… 143
一、供暖系统的构成 …… 143
二、供暖热负荷 …… 143
三、供暖方式 …… 146
四、热源 …… 157

第三章　夏季室内热环境设计 …… 160

第一节　夏季防热概述 …… 160
一、我国炎热地区范围及其气候特征 …… 160
二、建筑防热综合途径 …… 160
第二节　场地设计与防热 …… 161
一、建筑选址原则 …… 161
二、设计方法 …… 162
第三节　建筑体形与平面设计 …… 170
一、建筑体形 …… 170
二、建筑平面 …… 177
第四节　围护结构隔热设计 …… 184
一、外围护结构隔热设计的原则 …… 184

需要全本请访问 www.ertongbook.com

二、屋顶隔热…… 185
三、外墙的隔热设计…… 192
第五节　自然通风设计…… 195
一、通风的功能与要求…… 196
二、通风的物理机理…… 198
三、自然通风设计条件…… 201
四、自然通风设计…… 205
五、室内通风半定量分析…… 217
第六节　窗户遮阳设计…… 222
一、窗户遮阳…… 222
二、遮阳设计与计算…… 223
三、遮阳效果…… 230
四、遮阳形式与构造选择…… 231
第七节　空气调节系统…… 237
一、空调系统的分类…… 237
二、冷水机组…… 243
三、空调送风方式…… 247
第四章　室内防潮设计 …… 250
第一节　冬季防潮设计…… 250
一、防止和控制表面冷凝…… 250
二、防止和控制内部冷凝…… 251
第二节　夏季防潮设计…… 253
一、夏季结露及危害…… 253
二、夏季结露原因和防潮措施…… 255
第五章　室内热环境设计案例…… 257
李尔太阳能中心…… 257
科罗拉多州山地学院…… 260
乔治亚·巴迪逊州政府办公大楼 …… 264
凤凰城中心图书馆…… 266
参考文献 …… 273

作者简介

刘加平，男，陕西大荔人，建筑物理学工学博士，国家杰出青年科学基金获得者。现任西安建筑科技大学建筑学院教授、建筑技术科学研究所所长，博士生导师。兼任中国建筑学会建筑物理分会副理事长、建筑热工与节能专业委员会主任委员，建设部专家委员会建筑节能专家组成员，国家自然科学基金委员会第十届评审专家，《建筑师》杂志编委。曾任日本大学理工学部客座教授、澳大利亚新南威尔士大学荣誉客座教授等职。著有《建筑物理》、《城市环境物理》、《气候建筑学》、《绿色建筑》等著作。目前从事的主要研究领域为建筑热工与节能、绿色与生态建筑等。

杨柳，女，陕西西安人，建筑技术科学工学博士，现任西安建筑科技大学建筑学院副教授，建筑气候与建筑节能研究中心副主任，硕士生导师。兼任中国建筑学会建筑物理分会理事，陕西少建筑物理专业委员会委员。主要研究领域为建筑气候设计、绿色与生态建筑等，著有《Improving Residential Building Environment through the Energy-efficient Designs and Sustainable Technologies**》等研究论文十余篇，正在主持国家自然科学基金项目《建筑气候设计及应用基础》的研究工作。**

第一章　室内热环境设计理论基础

第一节　室内热环境与人体舒适感

对使用者而言，建筑物内部环境可简单分为室内物理环境（或生理环境）和室内心理环境两部分，其中室内物理环境属建筑物理学的范畴，是指室内那些通过人体感觉器官（皮肤触觉、视觉、听觉和嗅觉等）对人的生理发生作用和影响的物理因素。室内物理环境通常包括室内热环境、室内光环境、室内声环境及室内空气品质等，其中室内热环境属建筑热工学的研究范畴。

室内热环境又称为室内气候，由室内空气温度、相对湿度、气流速度和壁面平均辐射温度四种参数综合形成，以人体舒适感进行评价的一种室内环境。我们希望的室内热环境应该是在热湿效果方面适合工作和生活的环境，是建筑环境中的主要内容。

根据室内热环境的性质，房屋的种类大体可分为两大类：一类是以满足人体需要为主的，如住宅、教室、办公室等；另一类是满足生产工艺或科学试验要求的，如恒温恒湿车间、冷藏库、试验室、温室等。根据不同房间的使用性质和人体热舒适要求，运用建筑热物理学的基本知识，创造舒适、有效、健康的室内热环境是建筑设计师的职责所在。因此，建筑师在设计每幢房屋时，应考虑到室内热环境对使用者的作用和可能产生的影响，以便为使用者创造舒适的热环境。舒适的热环境是维护人体健康的重要条件，也是人们得以正常工作、学习的重要条件。在舒适的热环境中，人的知觉、智力、手工操作的能力可以得到最好的发挥；偏离舒适条件，效率就随之下降，严重偏离时，就会感到过冷或过热甚至使人无法进行正常的工作和生活。

一、人体冷热感与热舒适

室内环境的舒适与否，很大程度上取决于室内的冷热，也就是取决于热环境的状态。在气候良好的春秋季节，室内的气温适宜，不冷也不热；在冬季与夏季时节，因为室外气候状况不良，并通过建筑的周围壁体（墙壁、屋顶、地面的总称）进入室内，间接的影响室内的气候。通过墙壁而进出室内的热流或因换气而进入室内的热（冷）量，均使得室内的温度和湿度发生改变，从而对人体产生不适影响（见图 1-1）。但是，室外气候对室内热环境的影响，也因建筑设计的好坏而产生相当大的差异。

不同使用性质的房间，对室内热环境有不同的要求；但不论建筑的用途有何差异，只要人在室内工作与生活，就存在热舒适的问题。热舒适是指人对环境的冷热程度感觉满意的状态。热舒适不仅是保护人体健康的重要条件，而且也是人们正常工作、生活的保证。

人体与其周围环境之间保持热平衡，对人的健康与舒适来说是首要的条件之一。取得热平衡的条件以及身体对周围环境达到平衡时的状态，取决于许多因素的综合作用。其中一些属于个人的性质，如活动量、适应力及衣着情况等；另外与此有关的是室内热环境构成要素，包括室内空气温度、空气湿度、气流速度及环境辐射温度。

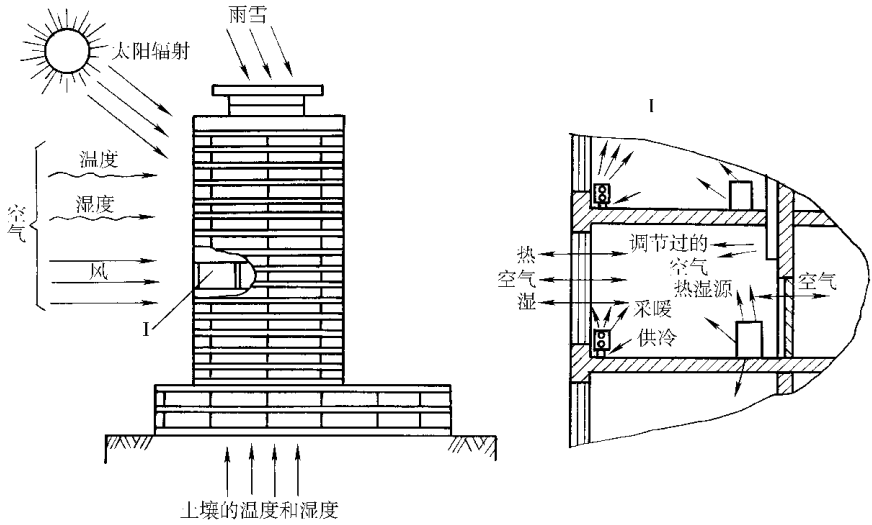


图 1-1　影响建筑室内热环境的各种因素

人体通过吃进的食物和吸入的氧气，在体内发生化学反应的产热过程，也是通过代谢的过程为人体提供各种器官在功能上所需要的能量。因此，人体是一种释放热量的热能机，其新陈代谢产热量的大小取决于人体活动量（见图 1-2）。

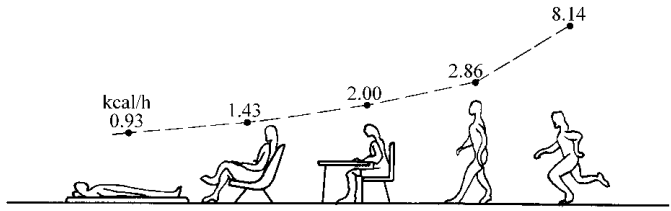


图 1-2　新陈代谢产热量（每 1kg 体重，1kcal/h = 4.185 5kJ/h）

人体为维持正常的生命现象，体温必须保持在 36.5 （腋下等部位），所以体内所产生的热量最后会释放于周围空气中。在室内的人感到冷或热，都是由代谢产热与放热之间的平衡决定的。人体感觉冷热的热平衡可用一架天平形象表示，如图 1-3 所示。

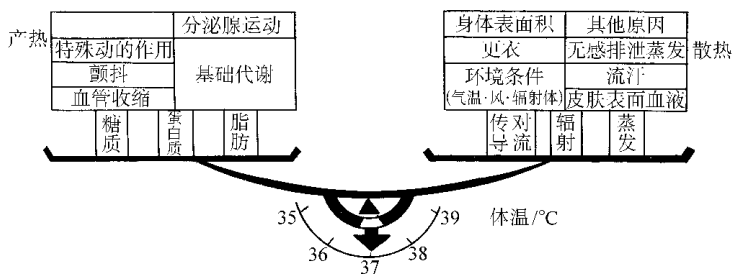


图 1-3　热平衡天平

如果放出的热量多于新陈代谢产热时，身体会感觉寒冷；相反的，放出热量少于代谢产热时，热量聚集在体内时，就会感到闷热。当两者相等时，体温保持一定，感觉不冷也不热，即舒适状态。这种人体与周围热环境之间的热平衡关系可以用下式表示

$$\Delta q = q_m \pm q_c \pm q_r - q_e - q_w \qquad (1\text{-}1)$$

式中　Δq——体感热量，即人体得失热量（J）；

q_m——人体新陈代谢过程的产热量（J）；

q_c——人体与周围空气的对流换热量（J）；

需要全本请访问 www.ertongbook.com

q_r——人体与周围表面的辐射换热量 (J)；

q_e——人体蒸发散热量 (J)；

q_w——人体做功消耗的热量 (J)。

人体新陈代谢过程中的产热量即新陈代谢热量 q_m 由人体活动量决定，如人在静坐时的新陈代谢率为 60W/m² (人体表面积约为 1.6m²)，在中速行走时为 200W/m²。新陈代谢释放的能量除用于对外做机械功外，大部分都转化为人体内部热量，最后以对流、辐射和蒸发的方式将热量散发到环境中去。

当人体与周围空气间存在温度差时，就会产生对流换热，换热量 q_c 取决于体表温度、空气温度以及气流速度等因素。当体表温度高于空气温度时，人体散热，人们感到凉爽 (夏季) 或寒冷 (冬季)，q_c 为负值。反之，则人体得热，q_c 为正值 (图 1-4)。

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，q_r 还应包括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，人体失热，q_r 为负值；反之，则人体得热，q_r 为正值 (图 1-5)。

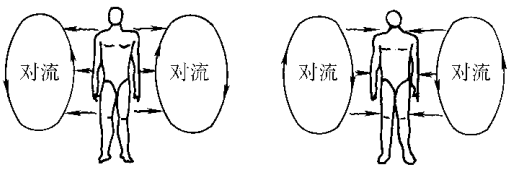


图 1-4　人体对流热交换

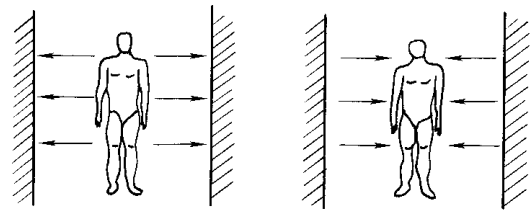


图 1-5　人体辐射热交换

人体的蒸发散热量 q_e 是由有感的汗液蒸发、无感的呼吸和皮肤隐汗汗液蒸发散热量组成。由呼吸引起的散热量与新陈代谢率成正比；通过皮肤的隐汗散热量取决于皮肤表面和周围空气中的水蒸气压力差；有感的汗液蒸发是靠皮下汗腺分泌汗液来散热，它与空气的流速、从皮肤经衣服到周围空气的水蒸气压力分布、衣服对水蒸气的渗透阻力等因素有关。

人体得失热量取决于上述各项热量得失的综合结果。上式中，当 $\Delta q > 0$ 时，体温上升，人体感觉到热；当 $\Delta q = 0$ 时，体温不变；当 $\Delta q < 0$ 时，体温下降，人体感觉到冷。显然，满足 $\Delta q = 0$ 时，人体处于热平衡状态，体温恒定 (36.5　)，在这种情况下，人体健康不会受到损害，这也是人体感到热舒适的必要条件。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，然而只有那些能使人体按正常比例散热的平衡才是舒适的。所谓按正常比例散热，指的是人体总散热量中对流换热约占 25% ~ 30%，辐射散热量约占 45% ~ 50%，呼吸和无感觉蒸发散热量约占 25% ~ 30%。处于热舒适的平衡，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遭到破坏，但并不至于立即使体温发生变化，因为人体有一定的新陈代谢调节机能。当环境温度过冷时，皮肤的毛细血管收缩，血流减少，皮肤温度下降，以减少散热量；当环境温度过热时，皮肤的毛细血管扩张，血流增多，皮肤温度升高，以增加散热量，甚至大量出汗使 q_e 增加，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 $\triangle q = 0$，但人体却已经不在舒适状态。不过只要分泌的汗液量仍在生理允许的范围内，其热环境虽不舒适，但仍是可以忍受的。

人体新陈代谢的调节能力是有限的，不可能无限制的通过减少输往体表血量的方式抵抗过冷环境，也不可能无限制的借蒸发汗液来适应过热环境。当室内的环境恶化到一定程度之后，终将出现 $\triangle q \neq 0$ 的情况，于是体温开始出现上升或下降现象。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，但从生理卫生角度来说已经不允许了。因此，在人体机能调节过程中，其皮肤温度和汗液蒸发率超过了生理所允许的范围时，就会使人体感到难以忍受。所以，人体在环境中感到舒适的条件是必须使其皮肤温度和汗液蒸发率处于舒适的范围。

二、影响人体热舒适的因素

(一) 环境因素

综合上述分析，人体的蒸发散热量随不同的气温、湿度或气流速度(风速)而变化，对流换热量与气温、气流有关，而辐射换热量则随不同的周围壁面温度而变化。因此，室内人体的冷热感觉决定于空气温度、相对湿度、气流速度及室内平均辐射温度四个环境要素。该四项构成要素与人体产热量及衣着情况的不同组合，使得室内热环境大致可以分为舒适的、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热环境。然而对于大量性建筑来说，按舒适要求来规定室内热环境标准是不恰当的。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热环境中，也会降低人体对环境变化的适应能力，不利于健康。

1. 空气温度

在室内一般情况下，气流不大，如果湿度很低，气温与周围壁面温度相差又不多，则身体感觉可完全由气温决定。

温度是分子动能的宏观度量。为了度量温度的高低，用“温标”作为公认的标尺。目前国际上常用的温标是“摄氏”温标，符号为 t，单位为摄氏度（ ）。另一种温标是表示热力学温度的温标，也叫“开尔文”温标，符号为 T，单位为开尔文(K)。它是以气体分子热运动平均动能趋于零时的温度为起点，定为 0K，以水的三相点温度为定点，定为 273K。摄氏温标和开尔文温标的关系为

$$t = T - 273 \qquad (1\text{-}2)$$

式中，273 为冰点的热力学温度。

室内空气温度对人体热舒适起着很重要的作用。根据我国国情，在实践中推荐室内空气温度为：夏季，26～28 ，高级建筑及人员停留时间较长的建筑可取低值，一般建筑及人员停留时间短的可取高值；冬季，18～22 ，高级建筑及人员停留时间长的建筑可取高值，一般建筑及人员停留时间短的可取低值。

2. 相对湿度

在气温较高的夏季，借汗水蒸发散热相当重要，这时湿度和气流在体感上同样重要。以一般饮水用杯子来衡量，蒸发半杯的汗水(100g)，体温约下降 1 。

空气中所含水蒸气的压力称为水蒸气分压力 P。在一定温度下，空气中所含水蒸气的量有一个最大的限度，超过了这一限度，多余的水蒸气就会从湿空气中凝结出来。当空气中的

水蒸气含量达到这一极限时，该空气称为“饱和”湿空气。如天花板、墙面及玻璃上有时出现的水珠以及浴室内的雾等都是空气的水蒸气达到饱和后，“超额”的水蒸气凝结的结果，即“结露”现象。

所谓相对湿度 φ，就是湿空气中的水蒸气分压力 p 与同温同压下的饱和水蒸气分压力 p_s 的比值，即

$$\varphi = \frac{p}{p_s} \times 100\% \qquad (1\text{-}3)$$

式中 φ——相对湿度 (%)；

p——湿空气中的水蒸气分压力 (Pa)；

p_s——同温同压下空气的饱和水蒸气分压力 (Pa)。

由此可知，相对湿度是表示空气接近饱和的程度。φ 值越小，说明空气的饱和程度越低，感觉越干燥；φ 值越大，表示空气越接近饱和程度，感觉越湿润。φ 值的大小还关系到人体的蒸发散热量，φ 值在 60% ~ 70% 左右是人体感觉舒适的相对湿度。

我国民用及公共建筑室内相对湿度的推荐值为：夏季为 40% ~ 60%，一般的或人员短时间停留的建筑可取偏高值；冬季对一般建筑不作规定，高级建筑应大于 35%。

3. 空气平均流速

室内空气的流动速度是影响伤体对流散热和水分蒸发散热的主要因素之一。气流速度越大，人体的对流蒸发散热量越强，亦加剧了空气对人体的冷却作用。我国对室内空气平均流速的计算值为：夏季，0.2 ~ 0.5m/s，对于自然通风房间可以允许高一些，但不高于 2m/s；冬季，0.15 ~ 0.3m/s。

4. 壁面平均辐射温度

据实验报告，在气温超过 40 的室内，使壁面变冷时，室内的人会感到心情舒畅。室内平均辐射温度 t_r 近似等于室内各表面温度的平均值，它决定了人体辐射散热的强度，进而影响人体的冷热感。在同样的室内空气温湿条件下，如果室内表面温度高，人体会增加热感；如果室内表面温度低，则会增加冷感。我国《民用建筑热工设计规范》(GB 50176-1993) 对房间围护结构内表面温度的要求是：冬季，保证内表面最低温度不低于室内空气的露点温度，即保证内表面不出现结露现象；夏季，保证内表面最高温度不高于室外空气计算温度的最高值。

(二) 人体因素

1. 人体活动量 (代谢量)

人体本身是一个生物有机体，无时无刻不在制造热能与散发热能，以便和外界环境达成一种“热平衡”。基于此，散发热量随着环境的不同而有所改变。例如，秋冬时，人体的散热会显著降低，以维持个体所需；而夏季又会大量散热，以降低不舒适程度。同时，人体产生的热量亦随着活动、人种、性别及年龄而有差异，参考表 1-1。

表 1-1 成年男子发热量

活动类型	新陈代谢率		活动类型	新陈代谢率	
	/met	/(W/m²)		/met	/(W/m²)
基础代谢 (睡眠中)	0.8	46.4	步行，速率 4km/h	3.0	174.0
静坐	1.0	58.2	步行，速率 5.6km/h	4.0	232.0
一般办公室工作或驾驶汽车	1.6	92.8	步行 5.6km/h，2kg 负荷	6.0	348.0
站着从事轻型工作	2.0	116.0			

人体经由各种方式或途径所消耗的能量称为“代谢率”，而安静状态下产生的热量称为“基础代谢率”。身高 177.4cm、体重 77.1kg、表面积为 1.8m² 的成年男子静坐时，其代谢率为 58.2W/m²，我们定义为 1met（metobolic rate），作为人体散热量的标准单位。图 1-6 为各种活动代谢率（成年男子）。

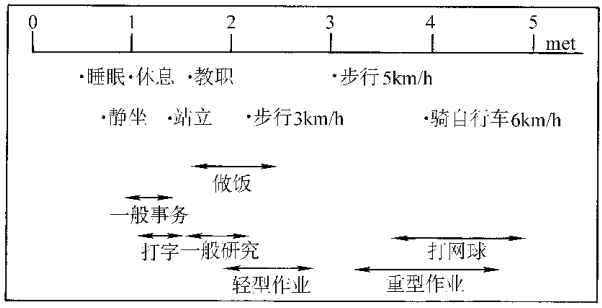


图 1-6 为各种活动代谢率（成年男子）

2. 衣着

人的衣着多少，也在相当程度上影响着人对热环境的感觉。例如，在冬季人们穿上厚重的衣物，以隔绝冷空气来保持身体之温暖；而在夏天则穿短袖等少量衣物，以加速人体之散热达到舒适程度。常用 clo 作为比较单位。所谓 1clo 是指在 21.2 、相对湿度 50%、风速 0.1m/s 的条件下，人体感觉舒适的衣着状况。若以衣物隔热程度来表示，则 1clo 相当于 0.18m²· /W。几种着衣状况下的 clo 值见图 1-7，常用服装的热阻值见表 1-2。

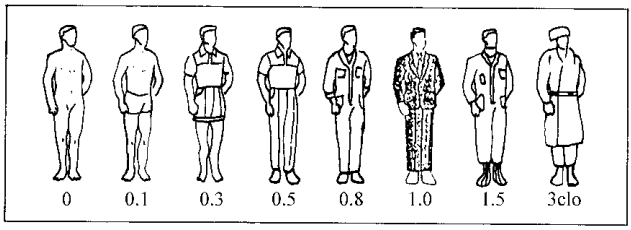


图 1-7 几种着衣状态之 clo 值

表 1-2 常用服装热阻值 （单位：clo）

男子		女子	
衬衫和裤子	0.51～0.65	衬衫和裤子	0.33～0.51
针汁衬衫和裤子	0.48～0.76	连衣裙	0.21～0.71
绒衣和裤子	0.60～0.75	连衣裙和衬衫	0.32～0.73
衬衫、绒线衫和裤子	0.81～0.90	绒线衣和裙子	0.40～0.68
衬衫、外套和裤子	0.89～1.00	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

三、室内热环境综合评价

室内热环境受各因素的综合影响，对它的评价要能全面、客观的反映这些因素。评价室内热环境的指标有多种，其中有的较为简单、有的较为复杂，使用起来各有利弊。最简单、最方便且应用最为广泛的指标是室内空气温度。目前，我国很多建筑设计规范和标准中，仍以室内空气温度作为设计控制指标，如居住建筑的冬季采暖设计温度为 18 ，托幼建筑的

采暖设计温度为 20 ，办公建筑的夏季空调设计温度为 24 等。在日常生活中，人们往往在室内放置一干湿球玻璃温度计，以干球温度作为简单评价室内热环境的标准。

仅用室内空气温度作为评价室内热环境的标准，虽然方便、简单、易行，但却很不完善。我们已经知道，人体热感觉的程度依赖于室内热环境四要素的共同作用。例如，当不考虑气流速度、空气湿度和平均辐射温度时，室温 30 时，比 28 感觉要热；但当室温为 30 且气流速度为 3m/s 时，组合起来要比室温为 28 且气流速度为 0m/s 时，人的热感觉舒适。因此，对于多因素评价，人们往往寻找能够代替多因素共同作用的单一指标。近些年来，不少学者提出了各种不同的评价指标，其目的都是企图用某个热指标 (单一参数) 来反映上述环境四要素不同组合时的综合效应。其中，丹麦学者房格尔 (P·O·Fanger) 的热舒适方程、图表及其 PMV-PPD 指标，能较全面的反映各因素间的关系，被公认为评价室内热环境质量较好的方法[11]。

(一) 房格尔热舒适方程

房格尔在人体热平衡方程式 (1-1) 的基础上，得出人体的得失量 Δq 是四个环境参数 (气温 t_i、相对湿度 φ、平均辐射温度 t_r 及气流速度 v) 与两个人体参数 (新陈代谢率 m、衣服热阻 R_{cl}) 的函数，表示为

$$\Delta q = f\ (t_i, \varphi, t_r, v, m, R_{cl}) = 0 \qquad (1\text{-}4)$$

该方程比较全面、客观地描述了人与上述六个影响人体舒适的物理量之间的定量关系。

房格尔将该方程中的某些参数以若干常数代入，求解出其余的参数值，绘制成热舒适线图，见图 1-8。

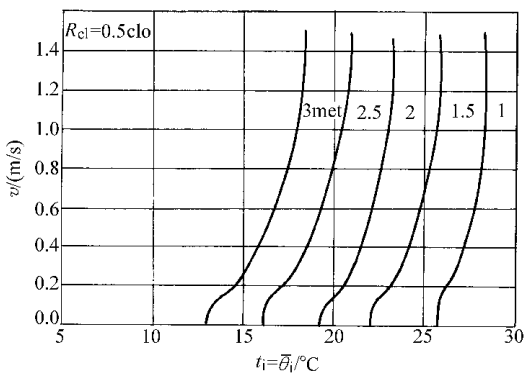


图 1-8 室内气流速度 v 与空气温度 t_i 之间的关系线图

[例 1-1] 在一个洁净室内，气流速度是 0.5m/s，相对湿度是 50%，工作人员坐着工作 (其新陈代谢率 m 为 1.2met)，穿统一的薄工作服 (0.5clo)，这时达到热舒适的室温应该是多少？

[解] 查图 1-8，根据插入法找出风速为 0.5m/s 与 1.2met 线的交点，从横坐标上就可以找出舒适的室内温度是 26.6 。

因此，根据房格尔热舒适线图，可以方便的得到人体感觉舒适的各环境要素之间的关系，从而为设计提供一定的指导依据。

(二) PMV-PPD 指标

为了在室内已知的各种气候参数的情况下确定人体的热感觉，房格尔又提出了 PMV-PPD 评价方法和指标。PMV (Predicted Mean Vote) 意为平均预测投票值。它是运用实验及统计的方法，得出人体热感觉与六个物理量之间的定量函数关系，然后把 PMV 值按人体的热感觉分为七个等级，定义为人体热舒适七点标度。

表 1-3 PMV 值与人体热感觉

PMV 值	- 3	- 2	- 1	0	1	2	3
人体热感觉	很冷	冷	稍冷	舒适	稍热	热	很热

通过大量的试验，房格尔得到了一定的 PMV 值，以及对该热环境感到不满意的人数占总人数的比例 PPD（Predicted Percentage Dissatisfied）值，意为预测不满意百分率。PMV-PPD 的关系见图 1-9。

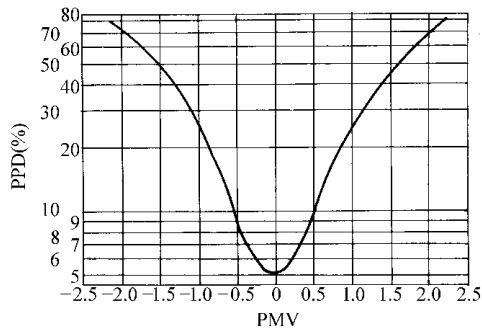


图 1-9　PMV-PPD 关系曲线图

使用 PMV-PPD 曲线，可以获得人对环境的评价。例如，夏季，当人们静坐时，室内温度为 30 ，相对湿度为 60%，风速 0.1m/s，房间的平均辐射温度是 29 ，人的衣服热阻为 0.4clo。根据 PMV 计算式可求得 PMV 等于 1.38。从表 1-3 可知，这种状态下，人的热感觉为比稍热还要热一点，对该环境不满意的人数百分率为 43%。

国际标准化组织（ISO）规定，PMV 在 - 0.5 ~ + 0.5 之间为室内热舒适指标。这一指标，只有舒适性空调建筑才可以达到。对于我国来说，在近期内还是难以达到的。如何判断适合我国国情的热舒适指标，还有待于进一步研究和探索。有学者推荐，对我国大量的自然通风房间，PMV 范围在 - 1 ~ + 1 之间可认为是较合适的[17]。

四、室内热环境测试

（一）温湿度计测试

1. 温度计

测定气温，一般使用装有水银或酒精的棒状温度计。但是测定时，如果附近有表面温度与气温相差很大的物体，则测定值会受到物体表面温度辐射的影响，同时风的有无与气流速度的变化也会间接影响测定值，这时最好使用通风干湿计来测定（见图 1-10）。

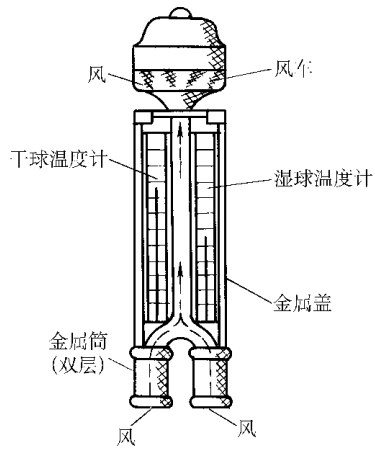


图 1-10　阿斯曼通风干湿计

温度的表示法中有摄氏度 t（ ）与华氏度 θ（°F），其换算方法为

$$°F = \frac{9}{5} \quad + 32。$$

$$\frac{t}{} = \frac{5}{9}\left(\frac{\theta}{°F} - 32\right) \tag{1-5}$$

2. 湿度计

做简单的湿度测定时，使用干湿球湿度计（见图 1-11）。这是由二根水银温度计所构成的，其中一根的球部用纱布（Gaze）包裹，浸放于水罐中，经常保持湿润，以此测得的温度叫做湿球温度，另一根所测得的温度叫做干球温度。随着湿球部周围空气不同的干湿程度，罐中水分因蒸发失去汽化热，故湿球温度比干球温度低，并且干湿球温度差越大就表示湿度愈低。

水分的蒸发受到气流的影响，因此在有风的地方干湿计所测得的湿度比实际湿度低。这时一般都采用阿斯曼（Assmann）干湿计做测定。

阿斯曼干湿计头部装有发条式风车（Propeller），这样的设计可以确保风车旋转时温度计

的球部总是面对一定风速（5m/s），不会因为风的有无影响湿度的变化。同时，干球部在接触风面时能迅速使温度计的刻度趋于稳定，缩短气温测定的时间。覆在球部的双层金属筒，不只是做球部的通气导管，也有消除辐射影响的作用。一般设计所采用的气温（干球温度）与湿球温度，除非有特别的限制，大都是以阿斯曼湿度计测定值作标准。湿度的测定除使用上述的计测器外，有时也使用由毛发干湿引起长度伸缩的毛发湿度计或砷材薄膜因湿度引起电阻变化所设计而成的计测器。

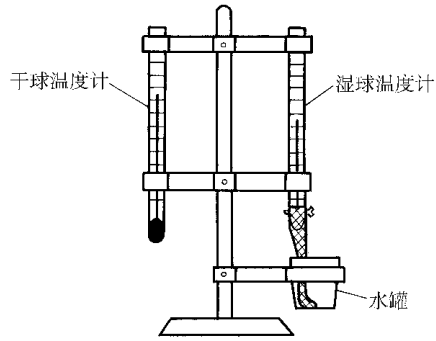


图 1-11　干湿球湿度计

3. 温湿度与室内气候

室内气候的舒适与否，严格地说是由上面所提到的四个环境要素综合作用的结果，但是一般室内的风速很小，周围壁面温度与气温相差无几，所以使辐射的影响也降低，因此气温与湿度变成体感上最重要的两个因素，它们相互组合后，即可表示出室内气候的舒适程度。

对于气温方面，人体如果在 70　环境中约承受 30min，49　下承受 1h，之后不论是肉体或精神上都无法活动。在 29　时精神活动变得迟钝，反应缓慢，容易冲动犯错；达到 25　以上则感觉闷热，全身懒洋洋，没有精神；10　时手脚前端开始僵硬，急需取暖（见图 1-12）。

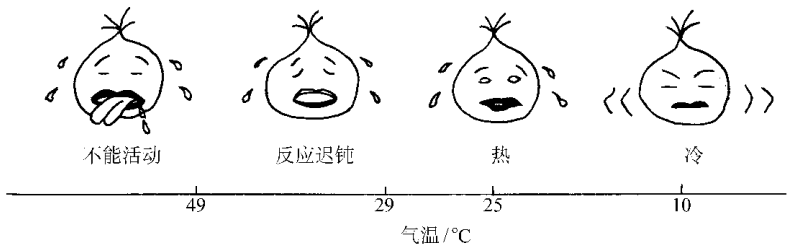


图 1-12　气温与人体反应的关系

关于温、湿度舒适条件的研究很多，据说在安静甚至于轻作业时，即使是通常衣着状态，舒适与否也会随季节变化而有所不同；但最舒适的状态是室内无风、温度 18　左右、湿度约 40%～65%的环境。此外，湿度变化对于舒适程度的影响要比温度的影响小。人类的活动状态越激烈，体内生产的热能越多，要保持舒适就必须促进人体放热，因此最好的方法是置身在较低的温、湿度环境。

（二）卡它温度计测试

卡它温度计是测定气温、气流及周围壁面温度（辐射热）对体感的综合影响效果，它是 1914 年由李欧纳德·希尔（Leonald·Hill）所设计出来的。其形状如图 1-13 所示，外表类似普通的酒精温度计，头部比较粗大，棒状部分的 A 刻

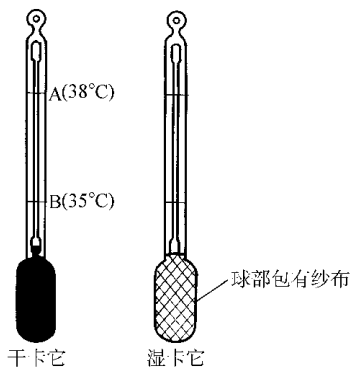


图 1-13　卡它温度计

度是 38 ，B 刻度是 35 ，平均温度是 36.5 （相当于体温），是根据人体的热模型设计而成的。

1. 卡它温度计测定方法

在测定场所，把卡它温度计的头部浸入 60 的热水中，使酒精柱上升（上升到顶端小球部为止），再拿出拭干，暴露于空气中，测定酒精柱从 A 下降到 B 的时间（单位：s）（见图 1-13）。在此刻为了避免受人体的热辐射影响，使其尽可能离开一定的距离测定，但必须特别留意看刻度时可能造成的误差（见图 1-14）。

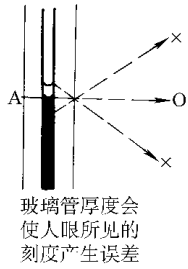


图 1-14 视差

在温热的 60 水中受热后，球部会因对空气传热和对周围壁面辐射而冷却，如果周围的空气很寒冷，下降时间就非常短暂；反之，周围空气温暖的话，则下降时间较长。这种冷却情形，可按照图 1-15 所示来计算较简单便利。

2. 卡它冷却力与舒适气候

因一般使用的卡它温度计较小，所以其缺点是对流放热量比实际的人体放热量要多，但总体上卡它冷却力的舒适范围如表 1-4 所示。作业状态愈激烈时，舒适冷却力就愈大，这是因为重作业时代谢产热增加，需要更多的放热，所以周围的冷却作用就变强。总之，在卡它温度计下降时间短促的环境下，冷却力要采用大一点的数值。

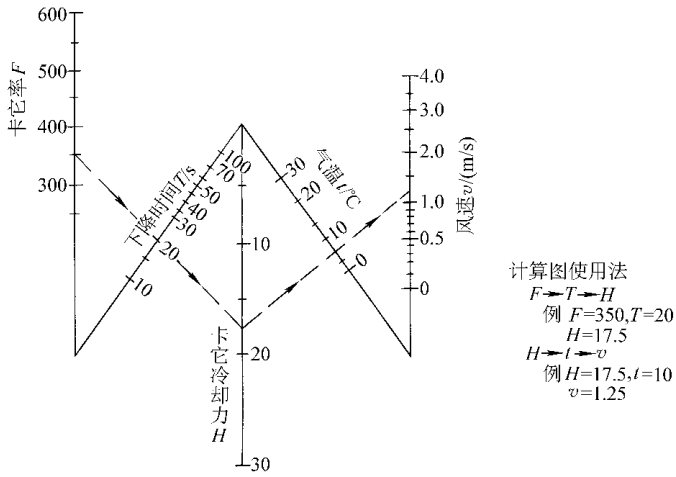


图 1-15 卡它冷却力和风速计算图

表 1-4 卡它冷却力的舒适值

作业状态	夏季		冬季		作业状态	夏季		冬季	
	H	H′	H	H′		H	H′	H	H′
轻作业	6	16	7	18	重作业	10	27	11	30
中作业	8	22	9	25					

注：H—干卡它冷却力；H′—湿卡它冷却力；H′ ≈3H。

（三）黑球温度计测定

1. 黑球温度计

黑球温度计是为了测定室内人体表面与墙面、天花板、地面等周围壁面的热辐射对室内体感的舒适影响，1930 年由维南氏（H·M·Vernon）设计发明。

测定器的标准形式是直径约 15cm 的薄铜板中空球体，表面漆成黑色，在球体中心内部装置棒状水银温度计。另外还有一种由日本人石川氏设计，直径约 7.5cm 的产品，在现场使用上非常便利（见图 1-16）。

需要全本请访问 www.ertongbook.com