

暖通空调工程 设计方法与系统分析

▶ 杨昌智 刘光大 李念平 编

中国建筑工业出版社

MUANTONG KONGTIAO GONGCHENG

暖通空调工程 设计方法与系统分析

杨昌智 刘光大 李念平 编

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

暖通空调工程设计方法与系统分析/杨昌智等编
北京:中国建筑工业出版社,2001.7
ISBN 7-112-04623-8

I. 暖… II. 杨… III. ①房屋建筑设备:采暖设备-建筑设计②房屋建筑设备:通风设备-建筑设计
③房屋建筑设备:空气调节设备-建筑设计
IV. TU83

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 23168 号

本书针对暖通空调专业学生及设计新手,使他们从整体上把握本专业工程设计的共性,如专业设计一般的程序、方法、内容和深度等,了解设计中需要遵守的相关法规,掌握设计所需资料的查取途径、方法等。而且能够避免设计中常见的毛病,吸取前人成功的设计经验,把设计做得更好。书中还编入了有关系统和设备的特性分析、工程问题信息反馈(即设计通病分析)、系统节能运行等方面的内容。

本书可作为暖通空调专业学生的教学用书,也可供广大暖通空调工程技术木人员参考。

暖通空调工程设计方法与系统分析

杨昌智 刘光大 李念平 编

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

有色曙光印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张:10 字数 240千字

2001年7月第一版 2001年7月第一次印刷

印数:1→3,500册 定价:14.00元

ISBN7-112-04623-8
TU·4140(10073)

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

随着社会的进步、科技的发展,暖通空调的应用越来越广泛,暖通空调系统的构造日趋复杂,人们对暖通空调系统及工程设计的要求也越来越高。暖通空调工程设计是一项复杂的工作,它不仅要求设计人员掌握本专业的理论知识和具备一定的实践经验,同时还要求设计人员掌握本专业工程设计的方法、程序和相关的法规、标准。为了使广大设计人员搞好本专业的工程设计,许多优秀的暖通专家、工程技术人员作出了不懈的努力,编写出版了大量相关的设计手册、指南、措施等,有力地推动了整体设计水平的提高。对于普通高校本专业的学生以及从事暖通空调工程设计的新手,一方面从这些书籍中学到了丰富的实际设计经验,获得了大量理论教学中无法学到的知识,但另一方面也感到这些设计手册、设计指南、设计措施等都非常具体,很难在短时间内从整体上把握本专业工程设计的共性,如暖通空调工程设计一般的程序、方法、内容和深度等。为了使本专业的学生及从事本专业设计的新手在短时间内掌握本专业工程设计的程序、方法,了解设计中需要遵守的相关法规,把握设计所需资料的查取途径、方法等,为了配合一些普通高校本专业的教学需要,我们编写了这本书,以期使她成为理论教学 and 实际工程设计之间的桥梁。同时,为了使广大学生和新手不仅能从中学到具体的设计方法、设计步骤,而且能够避免设计中常见的毛病,充分吸取前人成功的设计经验,把设计做得更好,在这本书中我们还编入了有关系统和设备的特性分析、工程问题信息反馈、系统节能运行等方面的内容。

本书编写计划一提出,就得到了建设部全国第三届建筑环境与设备专业教学指导委员会全体委员的肯定,许多委员还提出了宝贵的意见,在此,向他们表示感谢;本书从大纲的修改、确定到出版都得到了中国建筑工业出版社姚荣华副编审的大力支持和热忱帮助,在这里向她致以诚挚的谢意;本书在编写过程中听取了许多同行的意见,使本书几经修改,日趋成熟,向他们表示感谢;此外,长沙有色冶金规划设计院的欧阳炎同志、湖南大学硕士研究生叶国栋、文伟、刘成林、朱赤辉、马卫武等同学为本书的部分文字录入、插图绘制作了大量工作,在此一并向他们致谢。

由于为满足一些学校的教学急需,本书的成书周期较短,许多文字和表述方法未能仔细推敲,编者的水平也非常有限,书中肯定存在许多不尽人意之处,欢迎广大专家、同行不吝赐教,批评指正。

目 录

1 热湿环境	1
1.1 热湿环境的构成及对人体的作用	1
1.2 热湿环境的评价方法与评价指标	2
1.3 热湿环境基本参数的检测	3
1.4 暖通空调系统与室内热湿环境	8
2 暖通空调工程设计程序及内容	10
2.1 建筑工程设计程序	10
2.2 暖通空调工程设计内容	11
2.3 暖通空调工程设计程序	14
3 室内外设计计算参数	18
3.1 暖通空调法定室内外设计计算参数简介	18
3.2 室内外设计计算参数的获取	18
3.3 设计计算参数与暖通空调系统节能	19
4 空调系统设计方法	21
4.1 工况设计与过程设计	21
4.2 空调冷负荷计算	23
4.3 高层建筑空调水系统	34
4.4 工业厂房空调设计概要	47
4.5 空气处理设备凝结水排放系统	56
4.6 空调冷却水系统设计	59
4.7 新风系统设计	64
4.8 排风系统	68
5 供暖和通风设计方法	70
5.1 供暖系统设计方法	70
5.2 通风除尘系统设计方法	81
6 暖通空调主要设备的特性及选择	83
6.1 空调冷源设备	83
6.2 暖通空调热源设备	99
6.3 空气处理设备	102
6.4 热交换设备	109
7 一些公共建筑的空调设计要点	111
7.1 旅馆建筑空调设计要点	111
7.2 百货商场空调设计要点	115

7.3	影剧院建筑空调设计要点	117
7.4	体育建筑空调设计要点	119
8	高层民用建筑防、排烟设计	122
8.1	防、排烟设计任务与特点	122
8.2	防、排烟设计的有关建筑基本知识	122
8.3	自然排烟	124
8.4	机械防烟	126
8.5	机械排烟	129
8.6	地下汽车库的排烟设计	135
8.7	防、排烟设备及部件	135
9	自动控制与节能	139
9.1	空调设备的控制	139
9.2	空调工程的节能	142
10	工程问题反馈信息分析	148

1 热湿环境

我们人体处于热湿环境中,热湿环境直接影响人的生理过程,不同的热湿环境对人体的作用是不同的。显然,要想创造一个适合于人体的热湿环境,首先必须了解热湿环境与人体的相互作用规律评价方法和热湿环境基本参数的检测方法。

1.1 热湿环境的构成及对人体的作用

在我们所处的标准大气压下的空气环境中,可以说空气的温度、相对湿度、流速以及环境的平均辐射强度构成了影响我们人体的热湿环境。人体与环境之间的相互作用过程实际上就是人体与环境之间的热湿交换过程,影响这一过程的因素除上述环境参数外,还取决于人体的新陈代谢率和着衣热阻。这六大因素共同影响着人体与环境之间的热湿交换过程。

人体与环境之间的热湿交换是通过对流换热(C)、辐射放热(R)、皮肤表面蒸发放热(E_{sk})、呼吸对流换热(C_{res})和呼吸蒸发放热(E_{res})等进行的(图 1.1)。如果用 M 表示人体的代谢产热量, W 表示人体对外所作的功, S 表示人体储热量,则有如下关系式:

$$M = C + R + E_{sk} + C_{res} + E_{res} + W + S \quad (1.1)$$

式中, S 是人体体温上升或下降所引起的储热或失热。当人体得到的热比通过各种途径散发的热要大时,人体将出汗,依靠汗的蒸发带走多余的热量,如果大量出汗还平衡不了,体温将升高,此时 S 为正。反之,人体将减少流向皮肤层的血液量使表皮温度降低,以减少散热量保持热平衡,若还平衡不了,身体肌肉就会紧张甚至寒颤发热,以抵消多的散热维持体温平衡,当还平衡不了,体温会开始下降, S 就会为负值。在一定范围内,人体的体温调节机构有一定的自我调节能力。人体在舒适状态下 S 为零。其他各项一般情况下都不会等于零。如 E_{sk} 即使是在寒冷的冬天,人体未感觉出汗,也会有水分在不断地蒸发,在未感觉出汗的情况下,人体的汗湿率 ω 约为 0.06。环境对人体的影响及人体对环境的适应过程是复杂的,它还涉及到人体生理学,更具体的影响过程、方式参阅其他资料。

前述各影响因素对人体的作用是紧密相关的。在一定的气温下,相对湿度越大,人体通过蒸发的散热量就越少,越容易感到闷热,反之通过蒸发的散热量越大,人体就会感到凉爽;而在一定的相对湿度下,气温越高通过对流和辐射的散热量越少,人体感觉热,反之人体感觉冷。而当气温高一点湿度低一点的热环境和气温低一点湿度高一点的热环境可能对人体有相同的热作用效果,这一点在现实中我们都不乏体会。显然,组成热环境的各影响因素的不同组合,热环境对人体可以有不同的作用效果,但也可以有相同的作用效果。从暖通空调的角度来看,不同的组合,暖通空调系统的能耗是不同的。因此,采用怎样的暖通空调方式、参数组合才能使人体更舒适、暖通空调系统更易于实现、更节能是热湿环境在暖通空调领域

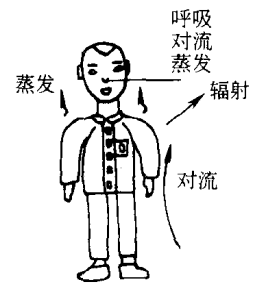


图 1.1 人体与环境的热湿交换

的应用研究主要的课题。

1.2 热湿环境的评价方法与评价指标

要创造和保持一个舒适的热湿环境,首先就要掌握热湿环境的评价方法。如前所述,影响热湿环境的各因素的不同组合可以得到相同效应的热湿环境。那么如何衡量这些因素对人体的共同作用效果,人体在这个环境中的感觉如何,如何定量地表示,这就是热湿环境评价所要解决的问题。

评价热湿环境就是将影响热湿环境的各要素和人体生理学结合人的主观感觉构造一个评价指标,这个指标反映人体对热湿环境的真实感受。如图 1.2 所示。

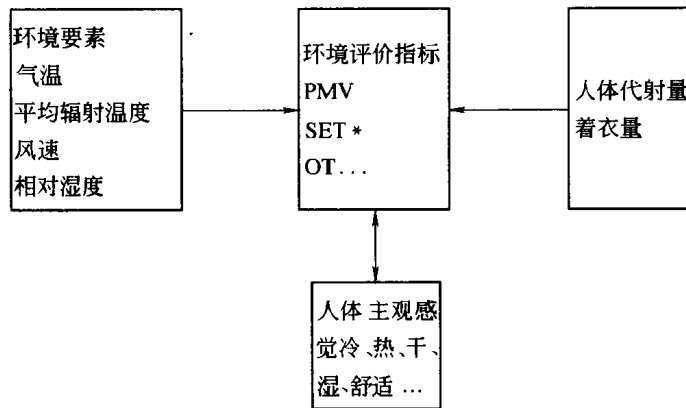


图 1.2 评价指标与环境及人体的关系

1.2.1 预测平均冷热感申报 PMV(Predicted Mean Vote)

PMV 指标是丹麦的 Fanger 教授提出的。它将人体对冷热的感觉分成七段,如表 1.1 所示。

PMV	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
冷热感	非常冷	冷	有点冷	不冷不热	有点热	热	非常热
不满足率	99%	75%	25%	5%	25%	75%	99%

PMV 与人体的代谢量 M 和人体的蓄热量 S 的关系是:

$$PMV = f(M) \cdot S \quad (1.2)$$

式中,

$$S = M - (C + R + E) - (C_{res} + E_{res}) \quad (1.3)$$

在出汗和蓄热不明显的场合,上式中的各换热量可以按下列各式给出。

$$C = f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \quad (1.4)$$

$$R = 3.96 \times 10^{(-8)} f_{cl} \times [(t_{cl} + 273.15)^4 - (t_r + 273.15)^4] \quad (1.5)$$

$$E = 3.05 \times (5.73 - 0.007M - p_a) + 0.42(M - 58.15) \quad (1.6)$$

$$C_{res} = 0.0014M(34 - t_a) \quad (1.7)$$

$$E_{res} = 0.0173M(5.87 - p_a \cdot M) \quad (1.8)$$

$$t_{cl} = t_{sk} - 0.155I(C + R) \quad (1.9)$$

$$t_{sk} = 35.7 - 0.0275M \quad (1.10)$$

式中 p_a ——水蒸气的压力(Pa)。

当气温 t_a 和黑球温度 t_g 之差小于 $2\sim 3^\circ\text{C}$, 风速为 v 时, 平均辐射温度 t_r 的计算可以简化如下:

$$t_r = t_g + 273.15 \sqrt{v} \cdot (t_g - t_a) \quad (1.11)$$

$$f(M) = 0.303 \exp(-0.036M) + 0.028 \quad (1.12)$$

Fanger 教授通过实验得到了被实验者对温冷感的不满足率 PPD 与 PMV 的关系式如下:

$$PPD = 100 - 95 \exp[-(0.003353PMV^4 + 0.2179PMV^2)] \quad (1.13)$$

从上式可以看出, 即使 PMV 为 0, 平均也会有 5% 的人不满足, 这说明了人体对冷热感觉存在个体差异。

在 ISO 7730 中, PMV 作为标准的热环境指标被采用, 并将 $PMV = \pm 0.5$ ($PPD = 10\%$) 作为舒适域。值得注意的是, 在上述表示各热量的计算式中, 基本上是在人体舒适或接近舒适的情况下导出的。特别是, 皮肤平均温度 t_{sk} 只考虑了人体的代谢热 M , 而没有考虑其他环境条件和着衣的影响; 蒸发热 E 没有考虑气温、辐射、风速和着衣的影响。显然, 当偏离舒适状态, PMV 值较大时, 将与实际偏差较大。所以, 运用 PMV 进行评价应控制在 PMV 不超出 ± 2 ($PPD = 75\%$), 最好是在 $PMV = \pm 0.5$ ($PPD = 10\%$) 范围内使用。

1.2.2 标准有效温度 SET^* (Standard Effective Temperature)

标准新有效温度就是冷热感觉及人体与环境的热交换量与实际环境等同的相对湿度为 50% 的标准环境的气温。它是由 Gagge 提出的, 并作为标准的体感温度被 ASHRAE 采用。这里的标准环境是指相对湿度为 $r_{hs} = 50\%$ 、风速为 $v_s = 0.1\text{m/s}$ 、人体代谢量 $M_s = 1.0\text{met}$ 、着衣热阻 $I_{cl.s} = 0.6\text{clo}$ 的环境。 SET^* 以实际气温 t_a 、平均辐射温度 t_r 、风速 V 、相对湿度 r_h 、代谢量 M 、实际着衣热阻 I_{cl} 为输入值, 用 Gagge 提出的人体二层生理模型算出人体的平均皮肤温度 t_{sk} 和汗湿面积率 ω 、结合热工学计算出通过皮肤面的换热量 M_{sk} , 在实际环境和标准环境等冷热感觉的条件下, 即:

$$\begin{cases} t_{sk.s} = t_{sk} \\ \omega_s = \omega \end{cases} \quad (1.14)$$

以及实际环境和标准环境人体换热量相等的条件下, 即:

$$M_{sk} \cdot S = M_{sk} \quad (1.15)$$

算出 SET^* 。

由于在计算 SET^* 的过程中, 全部考虑了热环境的六大要素, 因而可以说 SET^* 比 MPV 具有更加广泛的适用性。通过试验, 在舒适的条件下, SET^* 的大致范围, 美国人为 $SET^* = 22.2\sim 25.6^\circ\text{C}$, 日本人为 $SET^* \approx 22\sim 26^\circ\text{C}$ 。

此外, 还有一些其它的评价指标, 如有效温度 ET^* 、作用温度 OT 等。但比较全面、被广泛采用的是上述两个指标。

1.3 热湿环境基本参数的检测

1.3.1 热湿环境的基本参数

热体感觉冷热的环境基本要素如上所述有(1)空气温度;(2)空气湿度;(3)风速;(4)辐射温度以及在人体侧的着衣的热特性;(5)着衣热阻和表示人体在体内产生的热量;(6)代谢量六大要素。

这些要素在不同的场合、不同的时间,对环境和人体作用大小是不同的,有的因素在某种场合是主要因素而在另外的场合就成了次要因素。如在全空气系统中,空气的温度、速度和湿度是主要因素,通常以这些因素作为检测项目和控制参数;而在辐射采暖系统中主要的因素就成了气温、湿度和辐射温度了,此时气温、湿度和辐射温度就变成了重要的测定评价项目。在实际中要根据实际情况选择测定项目和相应的检测方法。本节介绍作为评价的基本要素的气温、湿度、风速、辐射温度、着衣量、代谢量的检测方法。

1.3.2 温度及其测量方法

1. 温度的表示方法

作为表示温度的单位通常有摄氏温度($^{\circ}\text{C}$)和华氏温度($^{\circ}\text{F}$),二者的换算如下式所示:

$$t(^{\circ}\text{F}) = (9/5)t(^{\circ}\text{C}) + 32 \quad (1.16)$$

此外,还有以绝对零度(-273.15°C)为基准的绝对温度(K),绝对温度与摄氏温度的换算关系为:

$$T = t(^{\circ}\text{C}) + 273.15 \quad (1.17)$$

2. 温度计的种类

(1) 热膨胀直读式温度计

常用的有将酒精或水银封入玻璃中制成的棒状温度计以及利用热膨胀系数不同的两种金属薄板随温度不同而变化这种特性的自动记录式温度计。

(2) 热电偶温度计

(3) 电阻温度计

3. 温度计的校正

为确保温度测量的精度,需要对测量用的温度计进行校正(标定),用作校正的温度计通常采用水银温度计或者是已经用标准温度计校正过的温度计。对于采用了二次仪表的测试系统,由于使用了连接测头和仪表较长的接线,则需要对包括二次仪表在内的温度测试系统整体进行校正。

4. 室温的测定

对于室温的测量首先要选择确定测点的位置。通常是在离地面 1m 到 1.5m 的高度测量,这是因为人在居室内活动的范围都在离地面 2m 的范围,而上述高度可以说代表了这一范围的平均高度。在 ISO7726 中推荐室温的测定高度为离地面 0.1m, 0.6m, 1.1m, 1.7m。对于不同的建筑、不同的空调系统、在不同的时间其室温的分布一般是不同的,因此,在进行室温测量时应根据具体需要在有代表性的平面位置和高度位置上布置测点。

对于非稳态的室温测定,应选择热惰性较小的温度计,如热电偶温度计。对于辐射影响较明显的场合,在测量室温时要注意防止辐射的影响,可以在测头罩上一个用黑度较小的铝箔作成的筒状物,但当测头直径小于 $\phi 0.1 \sim 0.2\text{mm}$ 时不用辐射罩。

5. 辐射的测定

热辐射的测定就是测定与人体进行辐射热交换的墙壁、家具等表面的温度,通过计算出辐射热交换量和平均辐射温度,或者测定空间某点的辐射温度或辐射热量。以下介绍主

要的测定方法。

(1) 接触法测定周围表面的温度

这是一种使热电偶或半导体温度计直接接触周围表面进行测定的方法。采用这种方法应注意：①使测头尽量细小；②测点应尽量选择能代表表面温度的点；③测头要与表面充分接触；④测量信号引出线从测点沿着表面要达 20cm 左右；⑤尽可能消除干扰表面温度的影响。

(2) 非接触法测定周围表面温度

这是采用红外线辐射温度计测量周围表面温度的一种方法。由于它不接触周围表面，因而不影响表面温度，并且与接触法相比能够更加简便地测定。热辐射温度计有测量表面中一些点的温度的点测型和测量表面温度分布的热画像型。对于利用红外线进行测量的表面温度测量装置必须预先输入被测表面的黑度 ϵ ，因此在需要准确测量表面温度的场合，被测表面的黑度是必须的。在以要计算平均辐射温度为目的场合，黑度以 1 进行测定，对于黑度未知及黑度不同的物体组合的场合，需要与接触法并用。

(3) 黑球温度计

黑球温度计是通过测量无发热球的辐射与对流达到热平衡时的温度，从而求出平均辐射温度的一种平均辐射温度测定装置。其结构如图 1.3 所示。由黑球温度计所显示的温度，即黑球温度 t_g 、气温 t_a 和风速 v 的测定值可以计算出平均辐射温度 t_r 。这个平均辐射温度 t_r ，由于球和人体的大小、形状都有明显的不同，因此严格地讲它与环境对人体的平均辐射温度是不同的。但是对于一般的室内环境它和人体的感觉比较接近，因而可以近似使用。特别是，当气流速度很小时，其表示的温度与环境对人体的作用温度基本一致。平均辐射温度由下式求得：

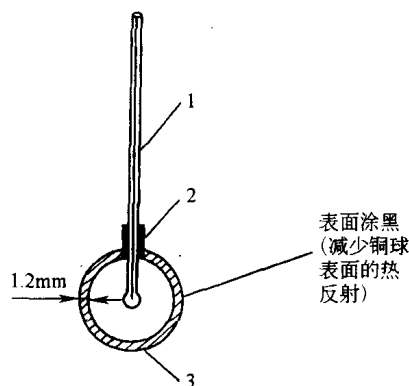


图 1.3 黑球温度计

1—温度计；2—橡皮塞；3—外径为 150mm 的铜板中空球(板厚 1.2mm)

$$t_r = t_g + 2.37 \sqrt{v} (t_g - t_a) \quad (^\circ\text{C}) \quad (1.18)$$

式中 t_r ——平均辐射温度， $^\circ\text{C}$ ；

t_g ——黑球温度， $^\circ\text{C}$ ；

t_a ——气温， $^\circ\text{C}$ ；

v ——风速，m/s。

黑球温度计由于球内的空气有一定的热容量，因而测量具有一定的延迟性，使用时要考虑测定时间。同时，读取数据时人体不要长时间地靠近温度计，还要避免靠近其他发热体。

1.3.3 湿度的测量

1. 湿度的表示

绝对湿度：单位质量的干空气中含水蒸气的量 [kg/kg]。

相对湿度：一定的温度下空气中的水蒸气分压力 P_a 和同温度下空气中水蒸气的饱和分压力 P_a^* 之比的百分数。

露点温度：当水蒸气分压力与某一温度下所对应的水蒸气饱和分压力相等时，所对应的

这个温度就是这个水蒸气分压力下的露点温度。

2. 湿度计的种类

(1) 阿斯曼通风干湿球温度计

测量空气的干湿球温度,据此计算或从 $h-d$ 图上查得空气的湿度。

(2) 电阻式湿度计

利用陶瓷等对水蒸气有很好的附着性,附着水蒸气量的改变引起电阻变化的特性来测量湿度的湿度计。

(3) 电容式湿度计

利用电容随湿度的变化而改变的特性进行湿度测量。

(4) 毛发式湿度计

毛发和植物纤维等会随周围湿度的变化而其长度会伸缩,利用这一性质制作的湿度计就是毛发湿度计。

3. 湿度的测量

在室内对湿度进行简易测定的场合,通常采用数字式湿度计。采用阿斯曼通风干湿球温度计测量湿度时,为了使其达到平衡,每点测量需要 3~5min 以上。即使是采用电阻和电容式湿度计,也要考虑时间延滞性问题。毛发式自动记录湿度计,主要用于以湿度管理为目的的场合,如美术馆、博物馆等的湿度测控常常采用。

1.3.4 空气流速及其测量

空气的流速是形成热环境的四个基本要素之一,同时还直接关系到室内热量及粉尘、有害气体等污染物的扩散。空气的流速主要以平均风速进行评价。但是,最近的研究发现,风速的不稳定度对人体的气流感也有较大的影响。

1. 风速仪的种类

在室内热环境的测量中经常使用的风速仪有热线风速仪、热敏电阻风速仪、晶体管式风速仪等。它们的构造、原理及使用方法在有关课程中已作过详细介绍。

2. 室内空气流速的测定

气流速度的测量高度,以离地面 10cm 和 100~120cm 的高度为好。在这两个高度位置正好是坐着的人着衣量少的脚踝关节部和裸露的脖子、头的部位,这些部位对气流十分敏感。在计测平面分布的场合,除了人员的工作位置等具有代表性的位置外,在近壁面和空调系统吹出口下方及近旁处也需设立测定点。

测量时,对于平均流速的测定要考虑到风速仪的时间延滞性;对于测量风速变动的场合要使用反应时间短的风速仪。

1.3.5 着衣量

1. 着衣量及热阻

冬天我们穿着毛衣等就是为了防止热的散发,此时毛衣等起着热阻的作用,表示着衣热阻的单位是 clo 值,1clo 相当于男性穿着西装时的热阻。

$$1\text{clo}=0.155 \quad (\text{m}^2 \cdot \text{C} / \text{W}) \quad (1.19)$$

clo 值越大衣服的热阻越大,反之越小。一般的,厚衣服的 clo 值大,薄衣服的 clo 值小,显然,裸体时的 clo 值为 0。

2. 着衣热阻(clo 值)的测定

要精确测量着衣热阻值是困难的,不同面料的衣服、人体的不同姿势、衣服的大小不同,确切地说衣服的热阻是不同的。在此介绍着衣热阻的一般测量方法。

(1) 温度测定法

在十分平静的环境中测量被试验者着衣的表面温度 t_s 、衣服内的皮肤温度 t_{sk} 及作用温度 t_o (当气温和作用于人体的平均辐射温度相等时可以用空气温度代替), 根据热平衡从下式求出着衣全体的热阻 clo 值:

$$I = (1/0.155h)(t_{sk} - t_s)/(t_s - t_o) \quad (1.20)$$

式中 h ——人体的综合换热系数, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$;

t_{sk} ——人体的平均皮肤温度, $^\circ C$;

t_s ——着衣表面温度, $^\circ C$;

t_o ——作用温度, $^\circ C$ 。

在气温为 $20 \sim 25^\circ C$ 时, 着衣内皮肤温度的经验值如下:

$$\text{男性} \quad t_{sk} = 0.42t_a + 23.60 \quad (^\circ C) \quad (1.21)$$

$$\text{女性} \quad t_{sk} = 0.52t_a + 21.10 \quad (^\circ C) \quad (1.22)$$

(2) 衣服重量测定法

在气温 $20^\circ C$, 相对湿度 $60\% \sim 65\%$ 的恒温恒湿环境中称取其重量 $W(g)$, 然后按下面的计算式求得其 clo 值:

男性衣服, 且 $W \leq 3000g$,

$$I_{clo} = 0.00058W + 0.068 \quad (clo) \quad (1.23)$$

女性衣服, 且 $W \leq 2000g$,

$$I_{clo} = 0.00103W - 0.025 \quad (clo) \quad (1.24)$$

式中 W ——衣服总重量, g 。

(3) 多件衣服的 clo 值

已知单件衣服的 clo 值 $I_{clo, i}$, 则多件衣服的热阻值可按下式计算:

男性衣服, 总热阻不超过 1clo 时

$$I_{clo} = 0.708 \sum I_{clo, i} + 0.052 \quad (clo) \quad (1.24')$$

女性衣服, 总热阻值不超过 1clo 时

$$I_{clo} = 0.828 \sum I_{clo, i} + 0.013 \quad (clo)$$

1.3.6 代谢量及其测量方法

如前所述, 人在体内的产热量与向体外的散热量相等时, 体温保持一定。人体的产热来源于人体对所摄入的食物的消化分解。成人每天的代谢热大约为 $10500kJ$, 安静的时候约为 $6300kJ$ 。

人的活动量或者作业强度可以用此时的代谢量表示。通常用单位体表面积、单位时间的代谢量表示。如安静地坐在椅子上时为 $58.2W/m^2$ 。这个代谢量如果对标准体格的成人而言, 每人相当于 $100W$ 的电灯 1 个。作为代谢量的基准单位, 通常用 met 表示, 1met 就是安静时的代谢量 $58.2W$ 。

代谢量的测定

测定各种场合代谢量的方法有直接法和间接法。

(1) 直接法

直接法就是直接测量人体各部分向外界散发的能量,包括辐射、对流、蒸发、做工等。当人体的体温恒定时,代谢量和散发量相等。

(2) 间接法

是一种通过测定人体氧气摄入量来测定人体代谢量的方法。通过测量呼吸量和呼气中氧气和二氧化碳的浓度,算出氧气的摄入量,从而计算出代谢量。

$$M = (0.23R + 0.77) \times 0.10 \times (60 \times V_{O_2}) / A_d, \quad \text{met} \quad (1.25)$$

式中 M ——人体的代谢量,met;

R ——呼吸商,被摄取的 O_2 量和排出的 CO_2 量的比,一般在 0.7~1.0 之间,安静时为 0.83,重作业时接近 1.0;

V_{O_2} —— O_2 的消耗量,L/min;

A_d ——是人体的体表面积, $A_d = 0.202(W_t)^{0.425} \cdot (H_t)^{0.725}$, m^2 ;

W_t ——体重,kg;

H_t ——身高,m。

1.4 暖通空调系统与室内热湿环境

人类为了抵御严寒和酷暑,很早前就采取了各种各样的办法,如生火取暖、凿窖储冰。随着工业的发达和科技的进步,就出现了空调系统,人类真正能够随心所欲地控制自己居住的热湿环境了。然而,室外的寒暑如何影响室内、空调系统怎样保持室内的热湿环境,是我们设计空调系统时需要掌握的。

1.4.1 室内热湿环境的内扰与外扰

这里指的内扰和外扰就是指影响室内热湿环境的室内和室外作用因素。如室内的照明装置、办公设备和人员向室内散热散湿,这些就是内扰;室内以外的作用因素如室外气温、湿度、太阳辐射、室外风等就是外扰。

内扰主要是通过对流、辐射和蒸发(或吸湿)与室内进行热湿交换,最后使室内的空气温度和湿度发生变化。

外扰则主要通过门窗辐射、通过围护结构热湿传导以及通过室内外的空气交换进行热湿传递的。其中,辐射热以两种方式影响室内环境:一是先辐射到围护结构外表面,使外表面温度升高,再通过围护结构传入室内;另一种方式是直接经透明或半透明门窗进入房间后首先是加热室内墙体及其他物体的表面,使这些表面的温度上升,然后这些表面与室内的空气进行对流换热;通过围护结构的热传导是热量从外墙经围护结构传入到内表面,再以对流和辐射的方式作用于室内;传湿也是通过围护结构传入内表面后以对流和扩散方式影响室内。

不管内扰还是外扰,最后它们都使室内空气的温、湿度改变。

1.4.2 暖通空调系统与室内热湿环境

暖通空调系统的作用就是抵御室内热湿环境的内扰和外扰,维持人们所需的热湿环境。以往的空调系统主要是以空气环境为控制主体,即室内空气的温度、湿度和速度。室内

空气环境的内、外扰最终是作用到室内空气上,使室内空气的参数改变。为了抵抗这个干扰、保持室内空气的参数达到所需要的值,人们通过暖通空调系统向室内空气供冷(或供热),加湿(或去湿)。这样,毫无疑问能够保持我们所需的室内空气环境,然而也带来了一些问题。

首先,如前所述,影响人体冷热感、舒适感的环境因素不仅仅是空气的温度、湿度或者速度,还有环境的平均辐射温度。同时,对于舒适性空调而言还有人体侧的人体的着衣量和作业量(代谢水平)。例如,在寒冷的冬天,空气的温度很低,但我们晒太阳和不晒太阳是大不一样的。显然,只考虑空气的状态参数是不全面的,它不能够全面地代表人体对环境的冷热感觉。其次,虽然不管是室内环境的内扰、外扰还是暖通空调系统,对室内环境的作用结果最终都体现到室内空气的状态参数上,但是这个过程是比较慢的,其时间的延滞性很大。如辐射,它先作用于室内各个表面,使其温度上升,再由温度升高了的表面通过对流使空气升温。对于辐射干扰变化频繁时,势必会造成室内空气参数的频繁变动,使空调系统起停频繁,也影响着人体的舒适感觉。第三,对于这种以控制空气参数为目的的空调系统,其节能性较差。一方面,如上所述,由于干扰对室内空气影响的滞后性会使室内空气参数波动,为了抵消这种波动有时不可避免地产生冷热抵消损失;另一方面,由于要保证空气的温湿度,因而需要对新风加热或冷却、加湿或去湿到室内空气所要求的水平,要消耗大量的能量,为降低新风负荷,对新风量限制严格,从而也大大降低了室内的空气品质。

随着热湿环境研究工作的不断深入,发现传统的单一以空气参数为控制目标的空调方式已经越来越不能适应发展的需要了。实际上,对于舒适性空调系统,其服务的对象是人,而不是空气,因而应该以人为作用主体,而不是空气。事实上,如前所述,影响人体冷热感、舒适感的六大因素共同作用于人体,它们对人体的作用程度可以用热环境评价指标如 SET^* 、PMV 等来衡量,例如在通常的范围内当 SET^* 值一定时人体的冷热感觉是相同的。而 SET^* 值是由前述六大要素构成的,因此我们有理由相信:对于空调系统,只要综合考虑这六大因素,使得所构成的 SET^* 值达到人体舒适的感觉即可。毫无疑问,要达到相同的 SET^* 值可以有許多不同因素的组合,这些众多的组合对于使空调系统能耗最少、对于解决上述问题、对于创造一个使人体更舒适的环境有着足够的空间。

2 暖通空调工程设计程序及内容

2.1 建筑工程设计程序

2.1.1 工程项目建设程序

对于大、中型工程建设项目,大体上分为两大阶段:

1. 项目决策阶段

建设项目决策阶段的工作主要是编制项目建议书、进行可行性和编制可行性研究报告。

(1) 项目建议书

项目建议书的主要作用是为推荐拟建项目提出说明,论述工程建设的必要性,以便供有关部门选择,并确定是否有必要进行可行性研究工作,项目建议书经批准后,方可进行可行性研究。

(2) 可行性研究

可行性研究是在项目建议书批准后开展的一项重要决策准备工作。可行性研究是对拟建项目的技术和经济的可行性进行分析和论证,为项目投资决策提供依据,可行性确认后编写可行性研究报告。

(3) 编写可行性研究报告

可行性研究报告是确定建设项目、编制设计文件的基本依据,可行性研究报告批准后,便是项目最终的决策文件和设计依据。

2. 项目实施阶段

工程立项后,建议项目进入实施阶段、项目实施阶段的主要工作包括有工程设计、建设准备、施工安装、竣工验收等。设计工作开始前,根据可行性研究报告,做好勘察和调查研究工作,落实外部建设条件。

建筑工程设计,一般分为初步设计和施工图设计两个设计阶段。对大型和重要的民用建筑工程,在初步设计之前,应进行设计方案优选,小型和技术要求简单的建筑工程,可以用方案设计代替初步设计。

2.1.2 暖通空调工程设计程序

建筑工程设计是由以建筑专业为主体,结构、暖通、水道、电力等专家共同参加的综合设计,在建筑设计方案优选阶段,暖通专业只与建筑等有关专业作配合工作。因此,暖通专业设计主要分为初步设计和施工图设计两个阶段。

1. 初步设计

根据设计任务书的要求,编制初步设计文件,初步设计文件包括:设计说明书、设计图纸(附图)、主要设备和材料表、工程概算四个部分。初步设计完成后,设计文件需要经过上级主管部门组织审查,初步设计文件经过批准后,才能进行施工图设计。