

王志远 徐志亮 编著

空调器性能 测试技术



科学出版社
www.sciencep.com

空调器性能测试技术

王志远 徐志亮 编著

本书由河南科技大学学术著作出版基金资助出版

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是根据作者多年来从事空调器研发积累的经验,探索出空调器制冷系统匹配的一般方法和制冷系统常见问题分析及处理。本书共分8章,内容包括制冷技术基础、家用空调器工作原理、焓差法实验室测试技术、空调器性能试验要求和方法、空调器制冷剂开发与应用、家用空调器制冷系统设计、家用空调器性能测试分析、空调器制冷系统调试技术。

本书可作为从事空调器研发、设计、系统匹配、性能测试等相关工程技术人员的参考书,也可供高等院校制冷与空调、制冷及低温工程、热能与动力工程、暖通空调等相关专业的广大师生教学时参考。

图书在版编目(CIP)数据

空调器性能测试技术/王志远,徐志亮编著. —北京:科学出版社,2009

ISBN 978-7-03-024751-3

I. 空… II. ①王…②徐… III. 空气调节器-性能试验 IV. TM925.120.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 095794 号

责任编辑:耿建业 潘继敏 / 责任校对:刘小梅
责任印制:赵 博 / 封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年6月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2009年6月第一次印刷 印张:19 1/4

印数:1—2500 字数:373 000

定价:48.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<新蕾>)

前 言

随着国民经济的不断发展和人民生活水平的提高,制冷技术在工业、农业、国防、建筑、科学等各个领域得到了广泛的应用。如今空调器已经走进了千家万户,从事制冷与空调技术的人员日益增多,多数高校也纷纷开设了制冷与空调的相关专业。大家都希望在这方面的技术水平上有所提高,而目前市场上有关制冷、空调方面的书籍又较少,且大多都是介绍安装、维修空调之类。为了适应形势的发展,满足广大从事空调器研发、设计等相关人员的需要,作者编写了本书。

制冷就是采用一定的方法,在一定的时间内,使某一物体或空间达到比周围环境介质更低的温度,并维持在给定的温度范围内。“冷”是相对于环境介质(大自然中的空气和水)而言的,为了使某一物体或空间达到或维持一定的低温,就必须采用一定的技术手段和方法,连续不断地取出物体或空间内的热量,所采用的技术称为“制冷技术”。

在空调技术中,实现制冷的理论基础是工程热力学、工程流体力学、传热学。利用工程热力学研究能量及其相互转换规律,特别是热能与机械能之间的相互转换。目前普遍采用的蒸气压缩式制冷方法,就是在机械能的作用下,通过制冷剂从低温热源吸取热量,连同机械能转化的热量,一起送往高温热源,即环境介质。利用工程流体力学研究制冷循环过程中的各种流体(水、空气、制冷剂、载冷剂)流动过程中的阻力损失。利用传热学研究制冷过程热量的传递和转移,制冷剂经过压缩、冷凝、节流、蒸发都会产生一定的热量,在连续循环的过程中制冷剂通过发生相变,来实现热量的传递。

本书共分8章,内容包括制冷技术基础、家用空调器工作原理、焓差法实验室测试技术、空调器性能试验要求和方法、空调器制冷剂开发与应用、家用空调器制冷系统设计、家用空调器性能测试分析、空调器制冷系统调试技术等。第1章主要讲述了工程热力学、流体力学、传热学在制冷技术中的应用及重要性,包括制冷循环压焓图、制冷理论循环等。第2章主要讲述家用空调器工作原理及制冷系统主要部件,另外还介绍变频空调和控制器等方面的内容。第3章~第8章重点讲述焓差法实验室测试技术与家用空调器制冷系统设计和性能测试技术等方面的内容,根据作者多年来在工作中积累的经验,探索出空调器制冷系统匹配的一般方法和制冷系统常见问题分析及处理,对从事空调器研发设计的人员具有一定的借鉴意义。

由于编者的水平有限,书中难免有不足之处,恳请广大读者批评指正。

电子邮箱:xuzhiliang0024@sina.com;或来信请寄:河南科技大学(校本部)86号信箱 制冷与空调研究所;邮编:471003。

作者

2009年3月于河南科技大学

目 录

前言

主要符号表

第 1 章 制冷技术基础	1
1.1 制冷常用术语	1
1.2 热力学第一定律	11
1.3 热力学第二定律	12
1.4 热传递基本方式	15
1.5 流体的伯努利方程	19
1.6 制冷热力学原理	21
1.7 制冷理论循环	24
第 2 章 家用空调器工作原理	28
2.1 家用空调器概述	28
2.2 家用空调器制冷原理和类型	33
2.3 家用空调器制冷系统主要部件	37
2.4 家用空调器常用电动机功能简介	45
2.5 家用空调器控制原理	51
2.6 变频空调器控制特点	58
2.7 变频空调器工作原理	62
2.8 变频空调器电路分析	67
第 3 章 焓差法实验室测试技术	72
3.1 焓差法实验室测试装置	72
3.2 焓差法实验室设备与仪器	77
3.3 焓差法实验室测试原理	84
3.4 焓差法实验室风量测试装置	88
3.5 焓差法实验室试验方案	93
3.6 一拖二焓差法实验室技术条件	96
3.7 焓差实验室测试操作规程	101
3.8 焓差法实验室调试常见问题分析	104
3.9 焓差法实验室测试机安装示例	109
第 4 章 空调器性能试验要求和方法	122
4.1 房间空调器性能试验要求和方法	122

4.2	变频空调器性能试验要求和方法	126
4.3	空调器噪声和音质试验要求和方法	134
4.4	空调器系统安全试验要求和方法	136
4.5	空调器电气安全试验要求和方法	141
4.6	空调器结构安全试验要求和方法	148
4.7	空调器控制系统试验要求和方法	151
第5章	空调器制冷剂开发与应用	157
5.1	制冷剂的种类与符号	157
5.2	制冷剂的性质	158
5.3	常用制冷剂	164
5.4	载冷剂 蓄冷剂 冷冻机油	168
5.5	R407C 制冷剂开发应用	174
5.6	R410A 制冷剂开发应用	180
第6章	家用空调器制冷系统设计	184
6.1	家用空调器系统匹配准则	184
6.2	家用空调器制冷系统设计	186
6.3	家用空调器系统匹配方法	189
6.4	家用空调器制冷系统性能匹配	192
6.5	家用空调器制热系统性能匹配	196
6.6	家用空调器制冷系统管路设计	199
6.7	风冷式蒸发器换热设计计算	210
6.8	风冷式冷凝器换热设计计算	217
第7章	家用空调器性能测试分析	222
7.1	制冷系统测试常见问题分析	222
7.2	家用空调器凝露试验测试分析	228
7.3	制冷系统各要素对性能的影响	230
7.4	制冷理论循环热力计算分析	233
7.5	毛细管与充灌量最佳匹配试验	239
7.6	制冷系统节流机构应用分析	243
7.7	空调器性能实验分析代码表	249
第8章	空调器制冷系统调试技术	254
8.1	家用空调器安装要求	254
8.2	空调器制冷剂的充注	259
8.3	制冷系统的清洗技术	264
8.4	空调器故障分析方法	266

8.5 压缩机故障分析及原因	271
8.6 四通阀故障判断及处理	274
8.7 空调器典型故障问题分析	278
参考文献	284
空调、制冷词汇中英文对照表	285

第 1 章 制冷技术基础

1.1 制冷常用术语

制冷就是采用人工的方法,在一定的时间内,使某一物体或空间达到比周围环境介质更低的温度,并维持在给定的温度范围内。“冷”是相对于环境介质(大自然中的空气和水)而言的,为了使某一物体或空间达到或维持一定的低温,就必须采用一定的技术手段和方法,连续不断地取出物体或空间内的热量,所采用的技术称为“制冷技术”。

制冷的的基本方法归纳起来分为两种:自然制冷和机械制冷。自然制冷就是利用物质的溶解、升华、蒸发等物理变化实现制冷;机械制冷是消耗机械能、热能等能量从低温物体中吸取热量,并将此热量传递至高温物体而实现制冷。机械制冷是利用制冷机实现的。常用的机械制冷方法有蒸气压缩式制冷、蒸气吸收式制冷、蒸气喷射式制冷、空气压缩制冷等,其中蒸气压缩式制冷应用较为广泛。

在制冷技术中常用的名词及术语介绍如下。

1. 温度

温度是表示物体冷热程度的物理量。从分子论的观点看,温度反映了物质分子热运动的剧烈程度及物质分子热运动平均速度的大小。温度的高低程度可用温度计来度量,如玻璃温度计,管内的液体受热后膨胀,液面升高,冷却收缩后,液面降低,液面的高低表示温度的高低。我国法定计量单位规定的温度制为摄氏温度和绝对温度(也称热力学温度),而欧美国家则采用华氏温度。

(1) 摄氏温度:摄氏温度的单位符号是 $^{\circ}\text{C}$ 。它是把 1 个标准大气压,即 101.325kPa 下水的冰点定为 0°C ,水的沸点定为 100°C ,把这两点之间分为 100 等份,每 1 等份即为 1 摄氏度,记作 1°C 。

(2) 华氏温度:华氏温度以符号 $^{\circ}\text{F}$ 表示,它把标准大气压下水的冰点定为 32 度,沸点定为 212 度。两点间分为 180 等份,每一等份称为华氏 1 度,记为 1°F 。

(3) 绝对温度:绝对温度的单位符号为 K。热力学的研究指出,自然界中存在一个最低的温度。热力学温标就把这个温度作为温度的零点,称为绝对零度。热力学温标仅用一个基准固定点——纯水三相点,即纯冰、纯水和水蒸气,固、液、气三相彼此处于平衡共存状态时的温度。绝对零度到水三相点的温度间隔为

273.16K。把绝对零度到水三相点之间的温度间隔分为 273.16 份,每一份就叫 1 开尔文(1K)。绝对温度制的 1 度份与摄氏温度制的 1 度份相等,所以水的冰点用绝对温度表示时为 273.15K,沸点为 373.15K。水三相点高于水冰点 0.01K。

摄氏温度制和华氏温度制还沿水沸点和冰点向上、下端延伸到更高和更低的温度区间。当温度在 0℃ 以下时,温度数值前加“-”号,不能省略,如 -23℃。三种温度制之间的换算关系式如下:

$$F = 1.8t + 32 \quad (1-1)$$

或

$$t = (F - 32) / 1.8$$

$$T = 273.15 + t \quad (1-2)$$

或

$$t = T - 273.15$$

式中 F ——华氏温度,°F;

t ——摄氏温度,°C;

T ——绝对温度,K。

2. 干球温度

用干球温度计所测出空气中的温度,即未包湿纱布的温度。

3. 湿球温度

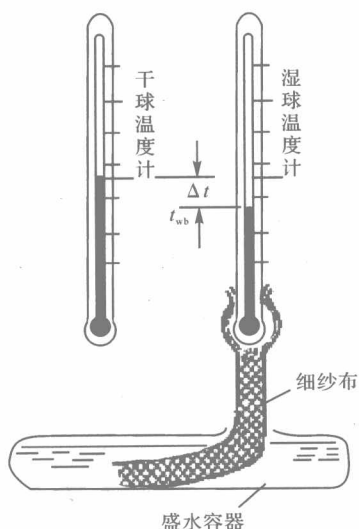


图 1-1 干湿球温度计

在空气调节中广泛地应用干湿球温度计来测量空气的相对湿度,进而计算出其他参数。干湿球温度计由两根相同的温度计组成,如图 1-1 所示。其中一根的感温包裸露在被测的空气中,其读数称为干球温度,就是通常讲的气温。另一根的感温包上裹以清洁的脱脂纱布,纱布的另一端浸入盛蒸馏水的容器中,纱布被润湿,包有湿纱布的温度计测得的温度称湿球温度。

湿球温度一般低于干球温度,原因是湿纱布表面有一层饱和空气层,其温度为水温 t_w 。设水温 t_w 高于空气温度,而空气处于未饱和状态,纱布中的水分就会蒸发到空气中去。水分蒸发时吸取的热量来自水本身,致使水温下降。当水温低于空气温度时,其蒸发所需热量一部分来自空气,另

一部分取自水本身,使水温继续下降。在空气温度不变的情况下,当空气传给水的热量等于纱布中水分蒸发所需的热量时,不需要再吸收水本身的热量,于是纱布上的水温不再下降,这时温度计上的读数就是湿球温度。

周围空气越干燥,纱布上的水分蒸发就越快,需要的汽化潜热越多,则湿球温度越低。因此,干、湿球温度之差($\Delta t = t - t_{wb}$)反映了空气相对湿度的大小。如果干湿球温度差等于零,表明周围空气达到饱和。

4. 露点温度

露点温度是在一定大气压力下,含湿量不变时空气中的水蒸气凝结为水(凝露)的温度。在含湿量 d 不变时,空气温度下降,由未饱和状态变为饱和状态,此时空气的相对湿度 $\varphi = 100\%$ 。在空调技术中,常把空气降温至露点温度,使空气中的水分析出,达到除湿干燥空气的目的。在日常生活中,常常见到冬季窗玻璃内表面上有结露现象,夏季在自来水管外表面上有滴水现象等,均属物体表面的温度低于空气的露点温度所致。

这个限度值会随空气温度的高低而变化,空气温度越高则其限值越大,反之亦然。这就是说,如果在某一温度下的饱和空气,在含湿量不变的条件下,对其加热使之温度升高,它就变成了未饱和空气;相反,在一定温度下的未饱和空气,在含湿量不变的条件下对其冷却使之温度降低,当达到某一温度时,它就会变成饱和空气,水蒸气含量此时已达到最大限度值即 $\varphi = 100\%$,该温度就称为该未饱和空气的露点温度,用符号 t_d 表示。如果温度再降低就会有水蒸气不断地从空气中凝结出来。

5. 热量

物体温度的高低表示物体的物质分子热运动的剧烈程度,也表示物体所具有能量的高低,这种能量称为热能。当温度不同的两个物体相接触时,两者温度逐步趋于一致,发生了热能从温度较高的物体向温度较低的物体转移,此时物体所放出或吸收的能量称为热量。

常用的热量单位有:

(1) 卡。在标准大气压力下,将 1 g 的水加热或冷却,其温度升高或降低 1°C 时,所吸收或释放的热量称为 1 卡,用符号 cal 表示。因卡的单位太小,工程上往往采用其 1000 倍的千卡或大卡来表示,其符号为 kcal。

(2) 英热单位。在标准大气压下,将 1lb(磅)(1lb=0.454kg)水加热或冷却,其温度升高或降低 1°F (华氏温度),所吸收或释放热量称为一个英热单位,其符号为 Btu。

(3) 焦耳。在国际单位制中,热量单位与功的单位一致,以焦耳表示。1J(焦

耳)相当于用 1N(牛顿)的力,在力的方向上移动 1m(米)所做的功。因此,在国际单位制中,焦耳是功和能的单位,采用这种单位使计算简化,焦耳的符号为 J。我国法定热量单位为焦耳。

焦耳与卡之间的换算为

$$1\text{kJ(千焦耳)}=0.239\text{kcal(千卡)}$$

$$1\text{kcal(千卡)}=4.19\text{kJ(千焦耳)}$$

其他常用换算公式为

$$1\text{kcal(千卡)}=3.969\text{Btu(英热单位)}$$

$$1\text{Btu}=0.252\text{kcal(千卡)}$$

$$1\text{kcal(千卡)}=427\text{kgf}\cdot\text{m(千克力}\cdot\text{米)}$$

$$1\text{kW(千瓦)}=860\text{kcal/h(千卡/时)}$$

$$1\text{美国冷吨}=3024\text{kcal/h(千卡/时)}$$

$$1\text{日本冷吨}=3320\text{kcal/h(千卡/时)}$$

$$1\text{英国冷吨}=3374\text{kcal/h(千卡/时)}$$

6. 比热容

任何物质当吸收热量时,它的温度都会升高。但相同质量的不同物质,升高同样温度时,其所吸收的热量是不一样的。物体温度升高 1K 所需的热量称为热容,以 c 表示,单位为 J/K。1kg 物质温度升高 1K(或 1°C)所需的热量称为质量热容,又称为比热容,单位为 J/(kg $\cdot$ K),用 c 表示。

如 1kg 水温度升高 1K(或 1°C)需 4.19kJ 热量,则比热容为 4.19kJ/(kg $\cdot$ K),而 1kg 铜温度升高 1K 只需 0.39kJ,则铜的比热为 0.39kJ/(kg $\cdot$ K)。不同材料有不同的比热容,表 1-1 为常用几种材料的比热容。

表 1-1 几种材料的比热容

物质名称	水	氨(液体)	氨(气体)	冰	玻璃	空气(干)	铜	钢
比热容/[kJ/(kg $\cdot$ K)]	4.19	4.609	2.179	2.095	0.754	1.006	0.390	0.461

7. 显热

当物体吸热或放热仅使物体分子的热动能增加或减少,即仅使物体温度升高或降低,并没有改变物质的形态时,那么它所吸收或放出的热量称为显热。如在水在沸腾前的吸热称为显热,因为此热可使水温升高。显热计算采用下式:

$$Q = cm\Delta t \quad (1-3)$$

式中 c ——物体比热容, kJ/(kg $\cdot$ K);

m ——物体的质量, kg;

Δt ——物体的温度差值, K。

显热变化量可以用温度测量仪器进行测量求出。知道材料比热容, 就能计算出对它降温所需要释放的热量。例如, 要将 5kg 水从 70℃ 冷却到 15℃, 需释放的热量为

$$Q = cm\Delta t = 5 \times 4.19 \times (70 - 15) = 1152.25 (\text{kJ})$$

8. 潜热

当物体吸热或放热仅使物质分子的热位能增加或减少, 即仅使物质状态发生改变(又称相变), 而其温度不变时, 它所吸收或放出的热量称为潜热。如制冷剂在沸腾时吸收的热量就是潜热(全热等于显热与潜热之和)。

物态变化不外乎“固-液”变化、“液-气”变化和“固-气”变化, 因此相应的潜热有汽化潜热、凝结潜热、溶解潜热和升华潜热等。制冷剂在制冷时吸收的潜热是汽化潜热。汽化潜热是指液体沸腾时, 1g 或 1kg 某种液体变为同温度气体所需的热量, 单位是焦/克(J/g), 或千焦/千克(kJ/kg)。制冷剂在冷凝器中由气体凝结为液体, 则该潜热称为凝结潜热。

常用制冷剂在常压下的汽化潜热和凝结潜热可查制冷剂热物理性质表。

已知物质的汽化潜热为 $r(\text{kJ/kg})$, 质量为 $m(\text{kg})$ 的液体被加热为气体, 温度未变, 那么该物体吸收的热量为

$$Q = rm$$

已知物质的凝结潜热为 $L(\text{kJ/kg})$, 质量为 $m(\text{kg})$ 的气体被冷却为液体, 温度未变, 那么该物体放出的热量为

$$Q = Lm$$

9. 压力

垂直作用于物体表面的力称为压力。物体单位面积上所受到的压力称为压强, 在工程上习惯将压强称为压力, 用符号 p 表示。在制冷系统中, 被密封在容器内的制冷剂气体, 其分子不停地运动, 频繁地与容器壁发生碰撞, 这种碰撞在宏观上就表现为垂直于容器内壁的压力, 即称为容器内的压力。而且气体分子越多, 运动的速度越快, 容器内的压力就越高。根据定义, 工程压力的计算公式为

$$p = \frac{F}{S} \quad (1-4)$$

式中 p ——气体压强, Pa; 常用单位是 kgf/cm^2 或 mmHg (毫米汞柱), 我国的法定单位是 Pa;

F ——气体对内壁的压力, N;

S ——压力 F 的作用面积, m^2 。

1) 大气压力

包围地球的空气层对单位地球表面积形成的压力称为大气压力。通常用 B 表示,单位用帕(Pa)或千帕(kPa)表示。

大气压力随各地海拔高度不同而存在差异,还因季节、气候的变化稍有变化。由于大气压力不同,空气的物理性质和反映空气物理性质的状态参数均要发生变化。所以,在空气调节的设计和运行中,要考虑当地大气压的大小,否则会造成一定的误差。

压力分三种:用仪表测定的压力(称工作压力,即表压力)、当地大气压和绝对压力。其相互关系为

$$\text{绝对压力} = \text{当地大气压} + \text{表压力}$$

在计算时湿空气的状态参数使用绝对压力。

压力单位换算如下:

$$1 \text{ 标准大气压(atm)} = 101325 \text{ Pa} = 760 \text{ mmHg} \approx 0.1 \text{ MPa}$$

$$1 \text{ 工程大气压(at)} = 1 \text{ kgf/cm}^2 \approx 0.1 \text{ MPa}$$

$$1 \text{ 巴(bar)} = 10^5 \text{ Pa} = 0.1 \text{ MPa}, 1 \text{ mmHg} = 133.32 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ mmH}_2\text{O} = 9.80665 \text{ Pa}, 1 \text{ mH}_2\text{O} = 9.80665 \times 10^3 \text{ Pa}$$

2) 水蒸气分压力与饱和水蒸气分压力

在湿空气中,水蒸气单独占有湿空气的容积,并且与湿空气相同温度时所产生的压力,称为水蒸气分压力,用 p_q 表示。

湿空气是由干空气和水蒸气组成的混合气体,因此湿空气的总压力应由干空气分压力 p_g 与水蒸气分压力 p_q 叠加而成,即

$$p = p_g + p_q$$

或

$$B = p_g + p_q$$

在空调工程中所考虑的湿空气就是大气,所以湿空气的总压力 p 就是当地大气压力 B 。

一定温度下,空气越潮湿,其水蒸气含量就越多,水蒸气分压力就越大。当水蒸气含量超过某一限量时,多余的水蒸气就会凝成水析出。这说明,此时,湿空气中的水蒸气含量达到最大限度,该湿空气处于饱和状态,称饱和空气;此时相应的水蒸气分压力称为饱和水蒸气分压力。该压力仅取决于温度,温度越高,其压力值越大。

与此同时,压力和沸点的关系也很大,降低压力能使液体的沸点降低,增加压力则使沸点升高。因此每一个作用于液体的压力就有一个对应的沸点。例如, $1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$ 下,水在 100°C 时沸腾;若压力升高到 $2.41 \times 10^5 \text{ Pa}$,水的沸点为 138°C ;若压力降低到 $0.43 \times 10^5 \text{ Pa}$,水的沸点为 84.5°C 。在制冷系统中,常用控制蒸发压力来达到控制蒸发温度的目的。

10. 蒸发与沸腾

制冷是利用制冷剂的状态变化来实现的。在冷凝过程中, 气态制冷剂在高温高压条件下放出凝结潜热而本身液化; 在蒸发器内, 液态制冷剂则在低温低压条件下吸收汽化潜热而变成气体。实际上, 液体汽化有蒸发和沸腾两种方式。

所谓蒸发, 是指任何温度下在液体表面进行的汽化现象。例如, 盘里的水在室温下会慢慢地减少直至消失, 还有衣服的晾干过程等。蒸发是由于液体表面上具有较高能量的分子克服液体分子的引力、穿出液面到达空间而形成的。由于汽化的液体分子吸收了液体内的热量(当然也从外界吸收热量), 故蒸发时液体本身的温度会有所降低。在相同环境下, 液体温度越高, 则蒸发越快。制冷工程中, 许多问题都涉及蒸发过程, 例如, 冷却塔及空调中的加湿与干燥过程等。

所谓沸腾是指液体吸热使温度升到沸点时, 在液体内部和表面进行的剧烈汽化现象。沸腾时涌现大量的气泡。沸腾过程必须从外界吸收热量, 但液体的温度不变。因此沸腾与蒸发是不相同的。在制冷过程中, 制冷剂的汽化是沸腾, 但按习惯仍称为“蒸发”。

11. 导热系数

导热系数(亦称热导率)是表示一种材料传导热量能力的一个物理量, 即是一种物性参数。如两块同样厚的材料, 一块是铜块, 一块是软木块, 把它们放在比本身温度高的环境中, 可立即感觉到铜块温度升高, 而对软木块则在短时间内感受不到。这说明两种材料对热量传导的能力不同, 把这种材料对热量的不同传导能力以数字表示就称为热导率, 其数值等于当材料层的厚度为 1m, 两边温度差为 1°C , 在 1h 内通过 1m^2 表面积所传导的热量, 用符号 λ 表示。

不同材料有不同的热导率, 它与材料的成分、密度、分子结构等因素有关。同一种材料, 影响其热导率的主要因素是密度和湿度。密度大则热导率大, 湿度大则热导率亦大。

12. 表面换热系数

当冻结一种物质时, 如在表面吹风则它的冻结速度比不吹风时快。表示这种不同物质之间在不同状态下换热能力的物理量称为换热系数, 其数值等于每小时、每平方米面积上, 当流体和固体壁之间的温度差为 1°C 时所传递的热量。以符号 α 表示, 其单位为 $\text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C})$, 国际单位制是 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 或 $\text{J}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C})$, 两者之间换算关系为 $1\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) = 0.860\text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C})$ 。

13. 传热系数

热量从高温侧流体透过平壁传到低温侧流体中去的过程称为传热过程。这种热量传递的能力除了与两侧温差、传热面积的大小有关外,还与平壁的导热系数、平壁的厚度及壁面两侧的换热系数有关。

把所有因素列成一个方程式,即

$$Q = KA\Delta t \quad (1-5)$$

式中 Q ——传递的热量, kW;

A ——平壁的表面积, m^2 ;

Δt ——传热温差, $^{\circ}C$;

K ——传热系数, $kJ/(m^2 \cdot h \cdot K)$ 。

K 为传热系数,它数值上等于当两侧温差为 $1^{\circ}C$ 时, 1h 通过 $1m^2$ 传热面积, 从一侧热流体传到另一侧冷流体所传递的热量, 是表征传热过程强烈程度的标尺。单位是 $kJ/(m^2 \cdot h \cdot K)$ 或 $W/(m^2 \cdot K)$ 。

14. 比容和密度

单位质量的空气所占有的体积称为空气的比容 ν , 单位是 m^3/kg 。密度 ρ 是单位体积中所含有的空气质量, 即质量密度, 单位是 kg/m^3 。密度和比容互为倒数, 两者只能看作是一个状态参数。它与温度、压力的关系为

$$\nu = 1/\rho, \quad \rho = \frac{p}{RT} \quad (m^3/kg) \quad (1-6)$$

湿空气的密度由干空气和水蒸气组成, 两种气体是均匀混合的, 并且共同占有相同的体积和相同的温度, 因此有

$$\rho = \rho_g + \rho_q = p_g/R_g T + p_q/R_q T \quad (1-7)$$

将 $p_g = B - p_q$, $p_q = \varphi p_{qb}$ 以及 R_g 、 R_q 的值代入式(1-7), 经整理后, 可得

$$\rho = 0.00348B/T - 0.00134\varphi p_{qb}/T \quad (kg/m^3) \quad (1-8)$$

15. 湿度

空气的湿度是指空气中所含水蒸气量的多少。一般有三种表示方法。

1) 绝对湿度(Z)

单位容积空气中含有水蒸气量(kg)称为空气的绝对湿度 Z , 单位为 kg/m^3 。

$$Z = \frac{m_q}{V} \quad (kg/m^3) \quad (1-9)$$

式中 m_q ——水蒸气的质量, kg ;

V ——水蒸气占有的容积, 即湿空气的容积, m^3 。

从式(1-9)可见,绝对湿度 Z 即为该温度和水蒸气分压力下的水蒸气密度 ρ 。

绝对湿度就是单位容积空气中水蒸气量的多少。由于容积随温度变化而变化,即使 m_q 不变, Z 也随温度的变化而变化。所以在计算中用 Z 表示空气的湿度不方便,因而引入含湿量的定义。

2) 含湿量(d)

每千克干空气所含有的水蒸气质量称为含湿量(d),单位为 kg/kg 干空气。即

$$d = \frac{m_q}{m_g} \quad (\text{kg/kg 干空气}) \quad (1-10)$$

式中 m_q ——湿空气中水蒸气的质量, kg ;

m_g ——湿空气中干空气的质量, kg 。

由理想气体状态方程可得

$$d = \frac{m_q}{m_g} = \frac{\frac{p_q V}{R_q T}}{\frac{p_g V}{R_g T}} = \frac{0.622 p_q}{B - p_q} \quad (\text{kg/kg 干空气}) \quad (1-11)$$

可见,含湿量 d 大体与水蒸气分压力成正比,而与空气总压力 B 成反比。它确切表达了空气中实际含有的水蒸气量,而且基本上同温度无关。对某一地区来讲, B 基本上是定值,那么空气含湿量仅同水蒸气分压力 p_q 有关。

在空调中,含湿量同温度一样,都是空气主要的状态参数,对空气进行减湿或加湿处理时,干空气的质量是保持不变的,仅水蒸气含量发生变化,所以空调工程的计算中常用含湿量这一参数。

3) 相对湿度(φ)

在一定温度下,空气所含的水蒸气量(即水蒸气分压力)有一个最大限度,超过这一限度,多余的水蒸气就会从湿空气中凝结出来。这种含最大限度水蒸气量的湿空气称为饱和空气。饱和空气所具有的水蒸气分压力和含湿量分别称为饱和水蒸气分压力 p_{qb} 和饱和含湿量 d_b 。如果温度发生变化,饱和水蒸气分压力和饱和含湿量也会相应地发生变化。凡是水蒸气含量未达到该温度下最大限度的空气称为未饱和空气。未饱和空气具有吸收和容纳水蒸气的能力。湿衣服挂在空气中能够被晾干,就是这个道理。

相对湿度(φ)就是空气中的水蒸气分压力 p_q 与同温度下饱和水蒸气分压力 p_{qb} 的比值,常用百分数表示。即

$$\varphi = \frac{p_q}{p_{qb}} \times 100\% \quad (1-12)$$

相对湿度 φ 表示空气接近饱和空气的程度。 $\varphi=0$,则属于干空气; $\varphi=100\%$,则称为饱和空气。可见, φ 值能够比较确切地表示空气干燥和潮湿的程度。

相对湿度 φ 和含湿量 d 都是表示空气的湿度参数,含义却不同, d 表示水蒸气