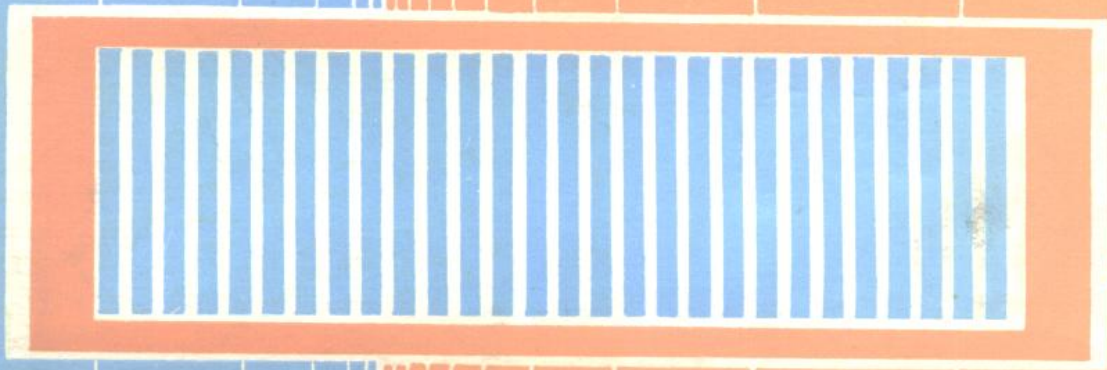


# 空气调节技术

寿荣中 方贤德 何慧珊 编



北京航空航天大学出版社

91.1931

TU 831

S 63

# 空气调节技术

寿荣中 方贤德 何慧珊 编

北京航空航天大学出版社

(京)新登字166号

### 内 容 简 介

本书是航空航天院校“空气调节技术”课程选用教材。书中系统阐述了空气调节技术的理论基础、基本规律和实践经验。内容包括：湿空气的性质和主要状态参数、室内热湿负荷、空气处理过程、空气处理设备、空气调节系统及其全年运行调节、空调房间的气流组织，最后介绍了空调系统的风道设计。为了便于对基本内容的深入理解和应用，编入了一定数量的例题、习题和思考题。全书采用国际单位制。

本书可供从事空调工程专业技术人员参考，也可作为专业培训用教材和大专院校有关专业学生的教学参考书。

### 空气调节技术

KONGQI TIAOJIE JISHU

寿荣中

方贤德 编

何慧珊

责任编辑 曾昭奇

北京航空航天大学出版社出版

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经销

北京密云华都印刷厂印装

787×1092 1/16 印张：15 8开插页1张 字数：40.0千字

1992年6月第一版 1992年6月第一次印刷 印数：3500册

ISBN 7-81012-303-3/V·025 定价：4.00元

# 前 言

在我国实现四个现代化的进程中，空气调节技术在创造舒适的生活环境，各种生产过程和科学试验能正常进行的受控环境，并在保证产品质量，提高劳动生产率等方面将起到越来越大的作用。

本书是专为航空航天院校飞行器环境控制专业学生编写的，其目的是通过本门课程的学习，使学生能拓宽知识面，了解地面所应用的空气调节技术概貌。因此，在编写中，力求系统阐明有关的基本规律和基本理论，尽可能做到理论联系实际，并能反映本学科的最新成就。

本书在绪论之后，先介绍了湿空气的性质和主要状态参数，同时以能量方程为基础，研究了热湿交换的基本原理、绝热饱和与湿球温度。室内冷（热）湿负荷是确定空调系统送风量及空调设备容量的依据，特专辟一章进行了研究，基本运算式中所涉及到的有关数据，为使读者有一具体概念，用附录型式摘要列出。从认识渐进的观点，依次对空气处理过程、空气处理设备和空气调节系统分三章进行讨论。由于课时的限制，对空调系统全年运行调节，只叙述了目前广为使用的普通集中式这种类型，其他如节能技术、消声防振及测试调整等内容也不再进行阐述，但对于直接影响空调系统使用效果，关系到室内工作区温湿度基数、精度、气流速度及人体舒适感等方面的空调房间气流组织，则进行了比较详细的介绍。本书最后一章讨论了空调系统的风道设计。

本书全部采用国际单位制，对取自参考文献的所有图表和数据，都根据国际单位进行了换算，但考虑到国内读者目前还比较习惯于工程制单位，在书后列出了空调工程常用单位换算表。

本书由寿荣中、方贤德、何慧姗编写，寿荣中为主编。方贤德编写其中的第一、四、五章及第三章中除第八节外的全部内容，并由朱学欧审校；何慧姗编写第二章及第三章第八节；其余各部分由主编完成。

本书在编写过程中受到有关负责教材编审同志的关怀和支持，清华大学薛殿华同志仔细审校了全部书稿，并提出了许多宝贵意见，在此深表谢意。由于编者水平的限制，有错误和不当之处，诚恳希望读者批评、指正。

编 者

1991年8月

## 主要符号

主要符号为全书各章中通用的符号、脚注及缩写符号。以下分符号、脚注及缩写符号三类加以说明。

### 1. 符号

- $a$ ——热扩散率, 导温系数 ( $\text{m}^2/\text{s}$ )
- $Ar$ ——阿基米德准则数 (无因次)
- $c_p$ ——定压比热 ( $\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$ ,  $\text{kJ}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$ ,  $\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$ )
- $d$ ——含湿量 ( $\text{kg}/\text{kg}_{\text{da}}$ ,  $\text{g}/\text{kg}_{\text{da}}$ )
- $D$ ——扩散系数 ( $\text{m}^2/\text{s}$ )
- $f, F$ ——面积 ( $\text{m}^2$ )
- $g$ ——重力加速度 ( $\text{m}/\text{s}^2$ )
- $G$ ——质量流量 ( $\text{kg}/\text{s}$ ,  $\text{kg}/\text{h}$ )
- $i$ ——焓 ( $\text{kJ}/\text{kg}$ )
- $I$ ——太阳辐射强度 ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
- $K$ ——传热系数 ( $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ,  $\text{W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$ )
- $l$ ——长度 ( $\text{m}$ )
- $L$ ——体积流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ ,  $\text{m}^3/\text{h}$ ), 冷负荷 ( $\text{W}$ )
- $Le$ ——刘易斯准则数 (无因次)
- $m$ ——质量 ( $\text{kg}$ )
- $P$ ——压力 ( $\text{N}/\text{m}^2 = \text{Pa}$ )
- $q$ ——比热流 ( $\text{W}/\text{m}^2$ ); 单位热量 ( $\text{J}/\text{kg}$ )
- $Q$ ——热流; 热负荷 ( $\text{W}$ )
- $r$ ——汽化潜热 ( $\text{kJ}/\text{kg}$ )
- $R$ ——热阻 ( $\text{m}\cdot\text{K}/\text{W}$ ); 气体常数 ( $\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$ )
- $Re$ ——雷诺准则数 (无因次)
- $s$ ——熵 ( $\text{kJ}/\text{K}$ )
- $t$ ——摄氏温度 ( $^\circ\text{C}$ )
- $T$ ——热力学温标, 绝对温度 ( $\text{K}$ )
- $v$ ——速度 ( $\text{m}/\text{s}$ ); 比容 ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )
- $V$ ——容积、体积 ( $\text{m}^3$ )
- $W$ ——湿负荷 ( $\text{kg}/\text{h}$ )
- $\alpha$ ——换热系数 ( $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ,  $\text{W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$ )
- $\beta$ ——按水蒸气分压力差计算的传质系数 ( $\text{kg}/\text{N}\cdot\text{s}$ )
- $\gamma$ ——水当量比 (无因次)
- $\Delta$ ——增量

$\varepsilon$ ——热湿比 (kJ/kg)  
 $\zeta$ ——阻力系数 (无因次)  
 $\eta$ ——效率 (无因次)  
 $\lambda$ ——导热系数 (W/m·K, W/m·°C)  
 $\nu$ ——运动粘性系数 (m<sup>2</sup>/s)  
 $\xi$ ——析湿系数 (无因次)  
 $\rho$ ——密度 (kg/m<sup>3</sup>)  
 $\sigma$ ——按含湿量差计算的传质系数 (kg/s·m<sup>2</sup>)  
 $\Sigma$ ——总和  
 $\tau$ ——时间 (s)  
 $\varphi$ ——相对湿度 (%)

## 2. 脚注

$b$ ——饱和  
 $d$ ——动压  
 $da$ ——干空气  
 $g$ ——空气  
 $j$ ——静压  
 $l$ ——露点; 冷负荷  
 $n$ ——内表面  
max——最大  
min——最小  
mean——平均值  
0——初始值  
 $q$ ——水蒸气  
 $s$ ——湿球  
 $w$ ——水; 外表面  
 $z$ ——综合

## 3. 缩写符号

clo——克裸 (服装热阻, 1clo = 0.155m<sup>2</sup>·°C/W)  
exp——指数函数  
NTU——传热单元数

# 目 录

前言

主要符号

绪论

## 第一章 湿空气的性质和主要状态参数

- 第一节 湿空气的组成.....( 5 )
- 第二节 状态方程和基本状态参数.....( 6 )
- 第三节 水蒸气分压力、含湿量、相对湿度和露点温度.....( 7 )
- 第四节 能量方程、焓.....( 10 )
- 第五节 焓湿图.....( 12 )
- 第六节 热湿交换的基本原理.....( 16 )
- 第七节 绝热饱和与湿球温度.....( 19 )

## 第二章 室内冷(热)、湿负荷

- 第一节 空调的室内设计条件.....( 27 )
- 第二节 气象参数与室外设计条件.....( 32 )
- 第三节 太阳辐射对建筑物的热作用.....( 36 )
- 第四节 通过围护结构的得热量及其形成的冷负荷.....( 43 )
- 第五节 室内热源、湿源所形成的冷负荷与湿负荷.....( 56 )

## 第三章 空气处理过程和风量的确定

- 第一节 概述.....( 62 )
- 第二节 等湿加热和等湿冷却过程.....( 63 )
- 第三节 减湿过程.....( 64 )
- 第四节 加湿过程.....( 65 )
- 第五节 绝热混合过程.....( 67 )
- 第六节 喷水室中的空气处理过程.....( 69 )
- 第七节 表面式换热器中的空气处理过程.....( 73 )
- 第八节 送风状态和送风量的确定.....( 76 )
- 第九节 新风量的确定和空气平衡.....( 79 )

## 第四章 空气处理设备

- 第一节 概述.....( 84 )
- 第二节 喷水室.....( 84 )

第三节	表面式换热器	(93)
第四节	空气热湿处理的其它设备和方法	(101)
第五节	空气的净化及过滤器	(105)
<b>第五章</b>	<b>空气调节系统</b>	
第一节	概述	(113)
第二节	普通集中式空调系统	(114)
第三节	双风道系统	(122)
第四节	多区域系统和末端再热系统	(127)
第五节	变风量系统	(128)
第六节	空气-水系统	(131)
第七节	制冷剂系统	(138)
<b>第六章</b>	<b>空调房间的气流组织</b>	
第一节	送、回风口空气流动规律	(141)
第二节	送、回风口的型式及气流组织形式	(147)
第三节	气流组织的计算	(152)
第四节	房间气流组织性能的评价	(167)
<b>第七章</b>	<b>普通集中式空调系统的全年运行调节</b>	
第一节	概述	(171)
第二节	室内热湿负荷变化时的运行调节	(171)
第三节	室外空气状态变化时的运行调节	(177)
第四节	普通集中式空调系统的自动控制	(181)
<b>第八章</b>	<b>空调系统的风道设计</b>	
第一节	风道内空气流动的阻力	(190)
第二节	风道内的压力分布	(194)
第三节	风道系统的设计计算	(197)
第四节	均匀送风管道设计计算	(202)
第五节	空调系统风道设计中的若干问题	(206)
<b>附    录</b>		
附录1	湿空气的密度、水蒸气压力、含湿量和焓	(213)
附录2	湿空气焓湿图	(插页)
附录3	夏季(7月)部分城市日射强度值	(215)
附录4	北区有内遮阳窗玻璃冷负荷系数	(215)
附录5	部分外墙结构类型	(216)
附录6	屋面结构类型	(216)



附录7	I型外墙冷负荷计算温度 $t_i$	(217)
附录8	屋面冷负荷计算温度 $t_i$	(217)
附录9	窗玻璃的传热系数 $K$ 值	(218)
附录10	玻璃窗传热系数的修正值	(218)
附录11	玻璃窗冷负荷计算温度 $t_i$	(218)
附录12	照明散热冷负荷系数	(219)
附录13	人体显热散热冷负荷系数	(219)
附录14	无罩设备和用具显热散热冷负荷系数	(219)
附录15	喷水室热交换效率实验公式的系数和指数	(220)
附录16	部分空气加热器的传热系数和阻力计算公式	(221)
附录17	部分水冷式表面冷却器的传热系数和阻力试验公式	(222)
附录18	SRZ型空气加热器技术数据	(223)
附录19	水冷式表面冷却器的 $e_2$ 值	(224)
附录20	JW型表面冷却器技术数据	(224)
附录21	风道阻力线算图	(225)
附录22	若干通风管件局部阻力系数表	(226)
附录23	三通局部阻力系数线算图	(229)
	空调工程常用单位换算表	(230)
	参考文献	(231)

# 绪 论

## 一、空气调节的任务和作用

在人类生活的地球上，自然条件的变化是很大的。和煦的阳春，酷热的盛夏，宜人的金秋，肃杀的隆冬，呈现出周而复始的循环，地理纬度的不同，更使这种变化蒙上一层地域的色彩。人类仅依靠自身的生理调节机能是无法适应这种变化的。我们的祖先在不断进化的历史长河中，就学会了种种抗御自然环境变化的能力。从穴居野洞，御衣蔽体，钻木取火到营造房屋，虽然举步维艰，但都是在抗争外界环境变化对人类生存的威胁和影响。随着社会的发展，人类所掌握的手段也越来越多，从消极防御发展到能动地去控制环境，并从保证人类生存的基本条件发展到创造一定的使人感到舒适的空气环境，以及使各种生产过程和科学实验能正常进行的受控环境，于是具有现代化涵义的空气调节技术便应运而生。

一般空气调节所应具备的功能是：

1. 加热或降温，能够调节空气温度；
2. 加湿或减湿，能够调节空气湿度；
3. 能够使空气具有一定的流动速度；
4. 能够使空气具有一定的洁净程度；
5. 能够使空气具有一定的新鲜程度。

空气调节的任务就是采用人工的方法，在任何自然环境下，将室内空气的温度、湿度、气流速度、洁净度、新鲜度保持在允许范围或规定值内，至于所要求的数值大小，则视各种调节对象的类别和性质而有所不同。

空气调节对国民经济各部门的发展和人民物质文化生活水平的提高，有着重要的作用。

例如，纺织、印刷、电影胶片洗印等生产车间，以及大会堂、宾馆、商场等公共建筑，农业上的大型温室、机械化畜类养殖场和生物生长室等特殊工场都要求对环境的温度、湿度进行不同程度的控制，这是属于一般范畴空气调节的任务。

又如，电子、仪表、精密机械加工工业，以及控制室、计量室、检验室、计算机房，为了保证产品的精度控制、检验要求，需要把空气的温度和湿度分别控制在相当小的波动范围内。有的要求室内空气温度波动幅度保持在 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 的范围内，这是恒温空气调节的任务；有的要求相对湿度波动幅度保持在 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 的范围内，这是恒湿空气调节的任务；有的温度、湿度同时都有要求，这就是恒温恒湿空气调节的任务。

再如，大规模集成电路生产车间，不仅对空气温度、湿度有一定的要求，而且对空气中含有尘粒的大小和数量也有相当严格的限制，这是净化空气调节的任务。

此外，象飞行器的座舱，当飞机从地面升入高空时，外界大气可从一个大气压变化到接近真空；可在几分钟内由受地面夏季炎热的炙烤突然遭到高空严寒的侵袭；还会经常遇到从高温的地面环境，瞬间进入湿度几乎为零的高空。宇宙飞船从地面发射到进入轨道飞行，很快处于零重力、超低温、真空、强烈的离子辐射的环境中。潜艇从水面潜入海底，则经受着

周围的高压和无新风来源的特殊环境。就在上述这些周围环境急剧变化时，仍需按规定保持各种舱体内一定的压力、温度和湿度，这就要求用空气调节技术来解决这些问题，说明空气调节对国防事业同样起着至关重要的作用。

综上所述，空气调节技术与工农业、科学技术和国防事业的发展以及广大人民物质文化水平的提高紧密地联系在一起。可以预见，在我们实现四个现代化的进程中，空气调节将在更大范围内发挥它的重要作用，将在更高的需求下得到发展和提高。

## 二、空气调节系统的基本组成

影响室内空气环境参数的变化，主要是由以下两个方面原因造成的：一是外部原因，如太阳辐射和外界气候条件的变化；另一方面是内部原因，如室内人和设备产生的热、湿和其他有害物质。当室内参数偏离了规定值时，就需要采取相应的空气调节措施和方法，使其恢复到规定的要求值。一般空气调节的基本措施，要求其系统结构包含以下几部分：

### 1. 进风部分

根据生理卫生对空气新鲜度的要求，空调系统必须有一部分空气取自室外，常称新风，取入的多少则视调节对象要求而定。如若是传染病房或是有污染源的房间，则应全部采用新风。进风口应选择在不受周围环境污染的部位。进风口，连同引入通道和阻止外来异物的结构等，组成了空调系统的进风部分。

### 2. 空气过滤部分

由进风部分取入的新风，必须先经过一次预过滤，以除去颗粒较大的尘埃，过滤到如何程度，则根据向空调房间送风的洁净度要求而定。一般空调系统都装有预过滤器和主过滤器两级过滤装置。过滤器的类型很多，型式各异。根据过滤的效率不同可以分为初效过滤器、中效过滤器和高效过滤器。在空调系统中应依次按初效、中效和高效安装。预过滤器一般是低效的粗过滤器。

### 3. 空气的热湿处理部分

将空气加热、冷却、加湿和减湿等不同的处理过程组合在一起统称为空调系统的热湿处理部分。喷水室根据喷水温度的不同可以达到加热、冷却、加湿和减湿四种目的；表面式换热器则根据通过媒质温度的不同，达到除加湿以外的其他三种目的。过去空调系统多用喷水室来处理空气，而现在用表面式换热器的方式逐渐增加。

### 4. 空气的输送和分配部分

将调节好的空气均匀地输入和分配到空调房间内，以保证其合适的温度场和速度场。这是空调系统空气输送和分配部分的任务，它由风机和不同型式的管道组成。根据用途和要求不同，有的系统只采用一台送风机，称为“单风机”系统；有的系统采用一台送风机、一台回风机，则称“双风机”系统。空调系统的冷、热管道都要采取保温措施，以防冷、热能量的损失。管道截面通常为矩形和圆形两种。与圆形风道相比，矩形风道工艺简单，室内布置方便，但所占的体积较大。一般低速风道多采用矩形，而高速空调系统则多用圆形风道。

### 5. 冷热源部分

为了保证空调系统具有加温和冷却能力，必须具备冷源和热源两部分。冷源有自然冷源和人工冷源两种。自然冷源指深井水，但大量开采深井水会导致地面下沉，故在使用上受到各种限制。人工冷源有空气膨胀制冷和液体气化制冷两种。空气膨胀制冷在飞机上得到广泛

的应用，但由于它首先必须具备有高压气源，其次它的性能系数很低，因此在地面建筑物空调上很少采用。液体气化制冷有蒸汽压缩式制冷、吸收式制冷和蒸汽喷射式制冷等多种方式。目前应用比较广泛的是活塞式压缩制冷机和离心式制冷机，使用的工质以氟里昂为主。由于氟里昂会破坏大气层中臭氧，出现了所谓的臭氧空洞问题，世界各国正在寻找它的代用品，如我国的G2018，美国的HCF141b等。

空调装置的热源也有自然和人工两种。自然热源指地热和太阳能。地热和太阳能的利用虽然各国都在探索，它不污染环境，是最“清洁”的能源，但由于技术复杂、设备庞大、成本高，目前都处于样品生产阶段，离商品化还需走相当大的一段距离。人工热源是指用煤、石油、煤气作燃料的锅炉所产生的蒸汽和热水，目前应用得最为广泛。利用制冷机的放热部分（冷凝器）所排出的热量，同样可以作为有效的热源加以利用。另外，直接用电能加热，虽然方便、清洁，但极不经济，除非水电资源极端丰富，一般是不采用的。

将所有空气处理设备都设置在一个集中的空调机房内的空气调节系统，称为集中式空调系统，又称全空气系统，这种系统出现得最早，也是迄今用得最多、最基本的方式。其特点是，经集中设备处理后的空气，用风道分送到各空调房间，因而，系统便于集中管理、维护。此外，某些空气处理的质量，如温湿度精度、洁净度等也可以达到较高的水平。

为适应高层建筑分区控制和节约能源的需要，还出现一些与一般集中式空调系统不同而又具有集中式空调系统特点的多种全空气系统，如各层机组方式、双风道和可变风量等系统。

如果将空气处理设备和制冷机、风机等组合在一起成为一个整体机组，称为空调机组或空调器。它们又称为局部式空调系统，可以直接将此机组放在要求空调的房间内进行空调，也可以放在相邻的房间用很短的风道与该房间相连。一般说来，这类系统可以满足不同房间的不同送风要求，使用灵活，移动方便，但装置的总功率必然较大。

具有集中处理空气的空调箱和风道，同时又在各空调房间设有局部处理装置的空调系统，称为半集中式空调系统。例如，诱导式空调系统、风机盘管系统等都属于此类。此类系统与集中式相比，省去了回风管，缩减了送风管截面，却同样利用了再循环空气，因而占用建筑面积较少，这一优点对高层建筑尤为突出。

### 三、空气调节技术的发展概况

空气调节技术是在本世纪初开始形成的，随着工农业发展和科学技术水平的提高而日趋完善。五十多年前，从全空气系统发展到空气-水系统，主要是为了节省建筑空间、设备、材料和便于调节控制的需要。近年来，从节约能量的观点出发，又由定风量系统发展到变风量系统，并逐渐在国内推广，估计将来在全空气空调系统存在的场合，大多将是变风量式的系统。

在先进的国家里，用于空气调节的电能耗占全国总耗电能的20~30%。在我国随着四个现代化的进展和人民物质生活水平的提高，应用空调设备的场所也会越来越多，所占总能耗比例也会越来越高。所以对空调装置要求大量节约用能、大量节省投资是一种必然的趋势。

在节能方面所采取的措施，一是热量的回收利用，例如应用转轮式热交换器、板翅式热交换器等；另一方面是节约热源和改善冷源，例如，将分散的锅炉群改为区域供热的热网，研制和推广成本低、效能高的新型制冷循环、制冷机和制冷剂。太阳能和地热的利用也应走出小型、样机化阶段，逐渐达到商品化。

在节省投资方面，应做到投资费用最省，并能节省大量的金属材料。例如，在空气-水系

统中以水管代替风道，可以比全空气系统节省不少金属。

在有些空调房间，出于对工艺上的特殊要求，提出了较高的空气调节技术上的精度水平。例如瑞士有恒温精度 $\pm 0.001^{\circ}\text{C}$ 的实验室，美国的恒湿精度早已达到 $\pm 0.25\%$ ，空气洁净度达到 $0.1\mu\text{m}10$ 级水平。我国的空气调节技术也在向高精度发展。但高精度的代价是不小的，如果实际上不需要而盲目提出高精度指标，将是一种严重的浪费。

在设计、工艺、运行管理及控制自动化方面广泛应用计算机技术，这肯定是空气调节技术发展的必然趋势。

# 第一章 湿空气的性质和主要状态参数

空气调节的主要任务，就是在所处自然环境下，使被调节空间的空气保持一定的温度、湿度、洁净度、新鲜度以及流动速度。因此，对于空调技术人员来说，首先要全面了解空气的性质。在本章的学习过程中，要了解空气的组成和物理性质，理解绝热饱和与湿球温度的概念，熟悉空气的主要状态参数以及空气调节工程中的常用工具——焓湿图。

## 第一节 湿空气的组成

环绕地球的空气层称为大气。大气中含有干空气、水蒸气和污染物质。污染物质（如尘埃、细菌、病毒以及烟雾等）因地点不同而有很大变化，本章不予涉及。干空气和水蒸气的混合物称为湿空气。空气中总是或多或少的含有水蒸气，可见，所谓的湿空气就是不含污染物的空气。湿空气也简称为空气。

干空气又是多种气体的混合物，主要成分有氮、氧、氩、二氧化碳等。各种成分的含量比较稳定，随时间、地点和海拔高度的改变而稍有变化。1949年国际联合委员会根据温湿资料确定了干空气的标准成分，见表1-1。虽然干空气是多种气体的混合物，但工程上通常把它作为纯物质气体（即只含有一种化学成分的气体）来处理。

在空气中，水蒸气的含量是不稳定的，常常随着季节、气候、湿源等各种条件的变化而改变。虽然空气中水蒸气的含量很少，但其变化会引起空气物理性质的改变，进而对人体感觉、产品质量、工艺过程和设备维护等产生不容忽视的影响。

干空气和水蒸气有着完全不同的物理性质。干空气的临界温度为 $-141^{\circ}\text{C}$ ，远低于空

表1-1 干空气的主要组成成分

主要组成成份	分子量	体积百分比
氮	28.016	78.084
氧	32.000	20.946
氩	39.944	0.934
二氧化碳	44.010	0.033

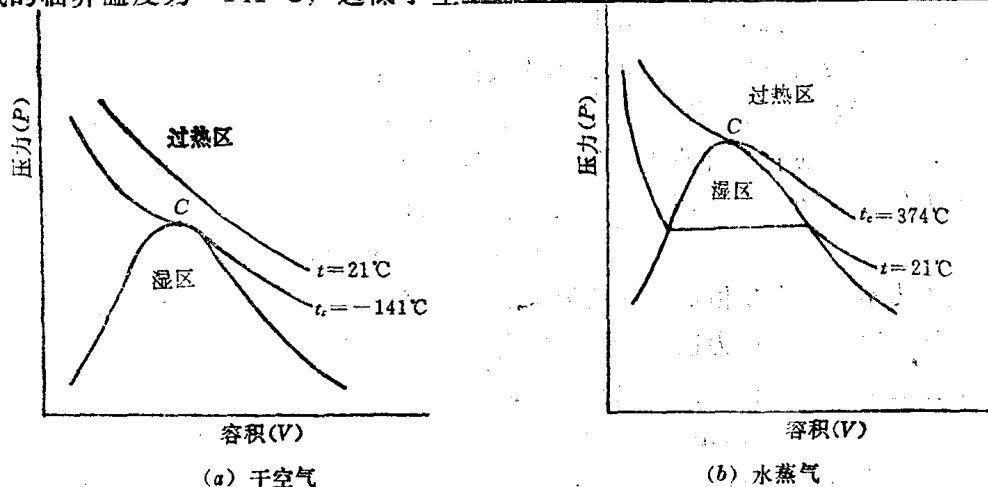


图1-1 干空气及水蒸气的压力-容积图

气调节温度范围。因此在空调过程中,干空气始终处于过热区,不会凝结成液体,见图1-1(a)。水蒸气的临界温度为+374°C,在正常室内温度下,能够凝结和蒸发。而且,在温度不变的情况下,仅改变压力就可以做到这一点,见图1-1(b)。高压除水装置正是利用了水蒸气的这一特性。

## 第二节 状态方程和基本状态参数

对于常温、常压下的空气,把它作为理想气体处理所造成的误差,在工程上是允许的。因此,在空气调节领域中,一般把空气视为理想气体,即认为湿空气中的干空气和水蒸气均为理想气体。这样做的目的,是为了在满足工程准确度要求的前提下,大大简化分析计算。也就是说,能用简单的方程式表达湿空气的物理特性,这些方程式能够求解,并且利用这些解能够制成焓湿参数表和焓湿图。

所谓理想气体,就是假定组成该气体的气体分子是不占有空间的质点,分子间没有相互作用力。实际上,气体分子尽管很小,但仍占有体积,气体分子之间也存在着相互作用力。理想气体的状态方程为

$$Pv = RT \quad (1-1)$$

或  $PV = mRT \quad (1-2)$

式中  $P$ ——气体的压力 (Pa);  
 $v$ ——气体的比容 ( $\text{m}^3/\text{kg}$ );  
 $R$ ——气体常数 ( $\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$ ),其大小取决于气体的性质;  
 $T$ ——热力学温度 (K);  
 $V$ ——气体的容积 ( $\text{m}^3$ );  
 $m$ ——气体的质量 (kg)。

温度是物体冷热程度的标志,温度高低的度量称为温标。开氏温标用符号 $T$ 表示,单位为K。它是以气体分子热运动平均动能趋于零的温度为0K,以水的三相点温度为273.16K,1K即为水三相点热力学温度的1/273.16。摄氏温度用符号 $t$ 表示,单位为°C。摄氏温度1°C和开氏温度1K的分度是相符的,两者的关系为

$$T = t + 273.15 \text{K} \quad (1-3)$$

式中,273.15是水冰点的热力学温标。

气体的压力是指单位面积上所受到的气体的作用力,单位为帕(Pa)或千帕(kPa)。1Pa = 1N/m<sup>2</sup>。地球表面单位面积所受到的大气的压力称为大气压力或大气压。除了上面的压力单位外,大气压还有多种使用单位,如气象上习惯用巴(bar)或毫巴(mbar),物理上习惯用标准大气压或物理大气压(atm)。它们之间的关系如下:

$$1\text{bar} = 1 \times 10^5 \text{Pa} = 0.986923\text{atm} \quad (1-4)$$

大气压力不是一个定值。不同的海拔高度大气压力不同;同一海拔高度在不同的季节、不同的天气状况,大气压力也有变化。标准状态下,海平面上的大气压力为101325Pa,所以我国常把这个压力值称为标准大气压,即

$$1\text{atm} = 101325\text{Pa} = 1.01325\text{bar}。$$

在空调系统中,空气的压力是用仪表测出的。仪表指示的是所测空气的绝对压力与当地

大气压力的差值，称之为工作压力（过去叫表压力），因此它不能代表空气压力的真正大小。工作压力与绝对压力的关系为

$$\text{压力} = \text{当地大气压力} + \text{工作压力} \quad (1-5)$$

通常所讲的压力，如未指明是工作压力，均应理解为绝对压力。工作压力不是状态参数，只有空气的绝对压力才是空气的一个基本状态参数。

单位质量气体所占的容积称为气体的比容，用 $v$ 表示，即

$$v = \frac{V}{m} \quad \text{m}^3/\text{kg} \quad (1-6)$$

单位容积气体所具有的质量称为气体的密度，用 $\rho$ 表示，单位 $\text{kg}/\text{m}^3$ 。显然，比容和密度之间存在下述关系：

$$\rho = \frac{1}{v} \quad \text{kg}/\text{m}^3 \quad (1-7)$$

温度、压力、比容（或密度）是空气的基本状态参数。

【例1-1】试计算压力为 $101325 \text{ Pa}$ 、温度为 $15^\circ\text{C}$ 的干空气的密度。

【解】干空气可以作为理想气体。根据理想气体的状态方程：

$$Pv = RT$$

因为密度 $\rho$ 是比容 $v$ 的倒数，所以得

$$\rho = \frac{P}{RT} = \frac{101325}{287 \times (273 + 15)} = 1.226 \quad \text{kg}/\text{m}^3$$

说明：在使用理想气体状态方程时，温度 $T$ 是绝对温标。对于标准大气压下的干空气，其密度可以根据所给的温度值从附录1中查得。

### 第三节 水蒸气分压力、含湿量、 相对湿度和露点温度

空气的主要状态参数，除了温度、压力、比容（或密度）之外，在空调工程中还用到水蒸气分压力、含湿量、相对湿度、焓、露点温度和热力学湿球温度等。下面介绍水蒸气分压力、含湿量、相对湿度和露点温度。焓、热力学湿球温度及其近似表示——湿球温度，将分别在本章第五节和第七节中介绍。

#### 一、水蒸气分压力

湿空气中水蒸气的分压力，就是当湿空气中的水蒸气单独占有湿空气的容积且具有与湿空气相同温度时所产生的压力。根据道尔顿分压力定律，混合气体的总压力等于各组成气体的分压力之和。所以，湿空气的总压力等于水蒸气分压力与干空气分压力之和，即

$$P = P_{da} + P_q \quad \text{Pa} \quad (1-8)$$

式中  $P$ ——湿空气的总压力，也即大气压，习惯上记作 $B(\text{Pa})$ ；

$P_{da}$ ——干空气的分压力（Pa）；

$P_q$ ——水蒸气的分压力（Pa）。



从气体分子运动论的观点来看，气体分子越多，撞击容器的机会就越多，表现出来的压力就越高。因此，水蒸气分压力的大小反映了水蒸气含量的多少。

## 二、含湿量

含湿量  $d$  表示与单位质量干空气共存的水蒸气的质量，即

$$d = \frac{m_q}{m_{da}} \quad \text{kg/kg}_{da} \quad (1-9)$$

式中  $m_q$  —— 湿空气中水蒸气质量 (kg)；

$m_{da}$  —— 湿空气中干空气质量 (kg)。

前已述及，在空调领域中，湿空气中的干空气和水蒸气可以分别作为理想气体看待。根据理想气体的状态方程，对于水蒸气，有

$$P_q V_q = m_q R_q T_q \quad (1-10)$$

对于干空气，有

$$P_{da} V_{da} = m_{da} R_{da} T_{da} \quad (1-11)$$

因为  $V_q = V_{da}$ ,  $T_q = T_{da}$

所以，由式 (1-9)~(1-11) 可得

$$d = \frac{R_{da} P_q}{R_q P_{da}} = \frac{R_{da} P_q}{R_q (B - P_q)} \quad \text{kg/kg}_{da} \quad (1-12)$$

式中  $R_{da}$  —— 干空气的气体常数， $R_{da} = 287 \text{J/kg} \cdot \text{K}$ ；

$R_q$  —— 水蒸气的气体常数， $R_q = 461 \text{J/kg} \cdot \text{K}$ ；

$B$  —— 大气压力。

将  $R_{da}$ 、 $R_q$  的数值代入式 (1-12)，得

$$d = 622 \frac{P_q}{B - P_q} \quad \text{g/kg}_{da} \quad (1-13)$$

或 
$$d = 622 \frac{P_q}{B - P_q} \quad \text{g/kg}_{da} \quad (1-14)$$

以上两式表明，当大气压力一定时，水蒸气分压力和含湿量近似为直线关系，水蒸气分压力越大，含湿量也就越大。如果含湿量不变，水蒸气分压力将随着大气压力的增加而上升，随着大气压力的减小而下降。

在空气调节中，含湿量和温度一样，也是一个重要参数。在空气的加湿、减湿处理过程中，都用含湿量来衡量空气中水蒸气量的变化。表示空气中水蒸气含量的多少，除了用含湿量外，还可以用绝对湿度。绝对湿度指的是单位容积湿空气中含有的水蒸气量。但绝对湿度使用起来不太方便，因为湿空气的容积随着温度的变化而改变。也就是说，即使水蒸气质量不变，由于湿空气容积的改变，绝对湿度亦将发生变化，因而绝对湿度不能确切地反映湿空气中水蒸气量的多少。

## 三、相对湿度

相对湿度  $\varphi$  定义为：在某一温度下，湿空气的水蒸气分压力与同一温度下饱和水蒸气分压力的比值，即