

中央空调的

运行管理与维修

李援瑛 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

中央空调的 运行管理与维修

李援瑛 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书在简明扼要地讲述空气调节基础知识和空调、制冷设备结构的基础上,系统地讲述了中央空调系统的组成,各部分的基本概况、工作原理、测控方法及使用与维修的基本知识,着重阐述了中央空调系统及其制冷设备的启动、运行、正常停机、事故停机、紧急停机和故障维修等从业人员必备的操作技能。本书在编写过程中突出了实用性和可操作性。

本书是从事中央空调运行、管理与维修人员的工作参考书,同时也可作为各类职业培训教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

中央空调的运行管理与维修/李援瑛主编. -北京:
中国电力出版社, 2001

ISBN 7-5083-0615-5

I. 中… II. 李… III. ①集中空气调节系统-管
理②集中空气调节系统-维修 IV. TB657. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 23495 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京市地矿印刷厂

各地新华书店经售

*

2001 年 8 月第一版 2001 年 8 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 16.75 印张 408 千字
印数 0001—4000 册 定价 25.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前 言



近年来，随着我国现代化建设的发展，在各种大中型工业和民用建筑物中普遍使用集中对空气进行调节的中央空调设备。中央空调的使用极大地改善了科研和生产环境，为高科技产品的研发、生产提供了可靠的外部条件。中央空调的使用同时也大大地改善和提高了人们的生活质量和健康水平。中央空调已成为现代化进程中必备的技术保障设备。中央空调设备的大规模使用同时也为人们提供了许多工作机遇，使中央空调运行管理和维修成为新兴的热门行业。

中央空调的运行维护技术是一门集制冷技术、空气调节技术、设备运行管理知识为一体的专业性很强的技术门类。这就要求从业者必须具备制冷和空调原理、制冷设备和空气调节设备基础知识以及制冷设备和空调设备的管理、操作和维修技能。本书正是本着为从业者提供基础理论知识和基础操作、维修技能的目的进行编写的。

本着由浅入深、深入浅出的编写原则，本书以中央空调系统中的制冷设备及其运行管理和维修为基本组成核心，系统和完整地讲述了中央空调的基础知识，中央空调系统的基本构成及各种部件的结构、作用和工作原理，详尽地讲述了中央空调系统启动、运行和日常管理以及常见故障的维修等操作方法。

本书的重点放在了中央空调运行管理与维修技能的讲述上。全书在内容上覆盖了中央空调运行管理中常见的技术问题，反映了当前中央空调运行与维修的技术发展水平，可作为中央空调运行管理方面的培训和自修的专业技术教材。

本书的使用对象主要是具有中学以上文化程度的在职职工，也可供各个层次的制冷与空调人员、院校师生作为专业学习的参考书。

全书由李援瑛主编，参加编写的还有曹艳芬、高萍、丁钊等同志。

由于编写人员水平所限，对于书中疏漏和不足之处，恳切希望读者批评指正。

作 者

2001.2

目 录

前言

第一章 空气调节概述	1
第一节 空气调节及任务	1
第二节 空气的物理性质	1
第三节 空气的焓—湿图	5
第四节 空气的焓—湿图的应用	6
第五节 空气调节负荷的估算	11
思考与练习	12
第二章 空气调节系统	14
第一节 空气调节系统的分类	14
第二节 集中式空调系统	15
第三节 风机盘管空调系统	21
思考与练习	25
第三章 空调的热湿处理设备	26
第一节 空气调节的冷源与热源	26
第二节 喷水室	30
第三节 表面式空气热交换器	33
第四节 空气加湿的方法及设备	35
第五节 空气的去湿方法及设备	37
第六节 空气的净化设备	40
第七节 空气调节的水系统	43
第八节 空调系统的风系统	47
思考与练习	49
第四章 空调系统的制冷设备	51
第一节 制冷剂与载冷剂及冷冻润滑油	51
第二节 中央空调的冷源	62
第三节 活塞式制冷压缩机	64
第四节 螺杆式制冷压缩机	78

第五节 离心式制冷压缩机	89
第六节 吸收式制冷机	104
第七节 制冷系统的辅助设备	119
第八节 冷却塔	130
思考与练习	132

第五章 空调与制冷系统的测控装置

.....	134
第一节 流动与液位控制器件	134
第二节 压力与温度控制器件	136
第三节 空调系统参数测量仪表	140
第四节 制冷空调系统的常用电器	147
思考与练习	157

第六章 空调系统的测定与调整

.....	158
第一节 空调系统风量的测定与调整	158
第二节 空气热湿处理过程的测定	162
第三节 空调房间内空气参数的测定	164
第四节 空调系统测试后的调整	165
思考与练习	167

第七章 空调系统的使用与维护

.....	168
第一节 集中式空调系统的使用与操作	168
第二节 集中式空调系统的故障分析和排除方法	171
第三节 风机盘管机组的运行调节	175
第四节 风机盘管机组维护	177
第五节 风机常见故障的处理方法	180
第六节 水泵与冷却塔的常见故障的处理方法	182
思考与练习	186

第八章 制冷设备的运行管理

.....	188
第一节 制冷设备的管理细则	188
第二节 活塞式制冷压缩机运行管理	191
第三节 离心式压缩机的运行管理	200
第四节 螺杆式制冷压缩机的运行管理	227
第五节 溴化锂制冷机的运行管理	237
思考与练习	258
参考文献	260

第一章 空气调节概述

第一节 空气调节及任务

空调是空气调节的简称，它是通过对空气的处理使室内空气的温度、相对湿度、气流速度和洁净程度（简称“四度”）达到一定要求的工程技术。所谓达到一定要求就是指空气的参数必须稳定在一定的基数上，并且不超过允许的波动范围，常用空调基数和空调精度来表示。

空调基数是指空调房间所要求的基准温度和相对湿度。空调精度是指空调房间的有效区域内空气的温度、相对湿度在要求的连续时间内允许的波动幅度。例如，某空调房间温度（ t ）要求为 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ，相对湿度（ ϕ ）要求为 $55\% \pm 5\%$ ，那么，此房间的空调基数为 $t = 20^\circ\text{C}$ 、 $\phi = 55\%$ ，空调精度为 $\Delta t = \pm 2^\circ\text{C}$ 、 $\Delta \phi = \pm 5\%$ ，即空调房间的温度应在 $18 \sim 22^\circ\text{C}$ 之间，相对湿度应在 $50\% \sim 60\%$ 之间，只要在这个范围内，空调系统的运行就是合格的。

空调基数直接关系到空调装置的投资和运行费用。一般来讲，夏季提高空调基数，冬季降低空调基数可以减少投资、降低能耗。而空调精度主要与自动控制有关。

凡是 Δt 在 1°C 以上的空调系统叫做一般精度的空调，可通过手动来控制；凡是 $\Delta t = \pm 1^\circ\text{C}$ 的空调系统宜作成自动控制；凡是 $\Delta t < 1^\circ\text{C}$ 的空调系统叫做高精度空调，应采用自动控制。

空调技术的诞生，有效地完善了工业生产中需要不同温度、湿度的工艺过程，也创造了舒适的人工气候环境，为人们的居住、旅游和娱乐提供了良好的条件。

根据空调使用对象的不同，我们可以把它分为两类：

(1) 舒适性空调：其目的是使室内空气具有良好的参数，向人们提供一个适宜的工作或生活环境，从而有利于提高工作效率或维持良好的健康水平。

(2) 工艺性空调：其作用是满足室内的生产、科研等工艺过程所要求的空气参数。

第二节 空气的物理性质

空调技术主要与空气相联系，因此首先要了解空气的物理性质及其状态参数之间的关系。

一、空气的组成

自然界中的空气，是由数量基本稳定的干空气和数量经常变化的水蒸气组成的混合物。这种混合物称为湿空气，也就是我们常说的空气。

1. 干空气

干空气是湿空气的主要组成部分，它是由氮气、氧气、二氧化碳及其他稀有气体（如氩、氦等）按一定比例组成的混合物（见表 1-1）。

表 1-1

干空气的组成部分

气 体 名 称	质量百分比 (%)	体积百分比 (%)	气 体 名 称	质量百分比 (%)	体积百分比 (%)
氮气 (N ₂)	75.55	78.13	二氧化碳 (CO ₂)	0.05	0.03
氧气 (O ₂)	23.1	20.90	其他稀有气体 (Ar、He、Ne、Kr 等)	1.30	0.94

2. 湿空气

凡含有水蒸气的空气均称为湿空气。

绝对的干空气在自然界中是不存在的,因为地球表面大部分是海洋、河流和湖泊,每时每刻都有大量的水分蒸发为水蒸气进入到大气中,所以自然界中的空气都是湿空气,习惯上称为空气。

湿空气中水蒸气的含量不多,通常占空气质量比的千分之几到千分之二十几,但变化较大。它随季节、天气、水汽的来源情况而经常变化,给生产、科研及人类的生活带来很大的影响。

3. 饱和空气

干空气具有吸收和容纳水蒸气的能力,并且在一定温度下只能容纳一定量的水蒸气。我们把在一定温度下水蒸气的含量达到最大值时的空气,称为饱和空气,此时的空气就是干空气和饱和水蒸气的混合物,所对应的温度为空气的饱和温度。

由于水蒸气含量达到饱和的条件是与空气的温度有关,空气温度越高,饱和空气中的水蒸气含量就越大,因此,如果降低饱和空气的温度,空气中的水蒸气含量也会随之降低,并且多余的水蒸气会冷凝成液体。自然界中的结露现象就是这个道理。根据这一道理,我们可以利用制冷装置对空气进行冷却去湿处理。

在大自然中,空气中的水蒸气一般来说是不饱和的。

二、空气的物理性质

空气的状态参数是一些为了说明空气状态变化的物理量,主要有温度、压力、湿度和焓等。

1. 温度

温度是描述空气冷热程度的物理量,它有三种标定方法:摄氏温标、华氏温标和绝对温标(又叫热力学温标或开氏温标)。

摄氏温标用符号 t 表示,单位是℃;华氏温标用符号 t_F 表示,单位是°F(华氏温标为非法定计量单位);绝对温标用符号 T 表示,单位是 K。

三种温标间的换算关系如下:

$$T = t + 273$$

$$t = T - 273$$

$$t_F = \frac{9}{5} \times t + 32$$

$$t = \frac{5}{9} \times (t_F - 32)$$

因为水蒸气是均匀地混合在干空气中,所以,平常我们用温度计所测得的空气的温度既是干空气的温度又是水蒸气的温度。

2. 压力

空气的压力就是当地大气压,用符号 p 表示。

常用的压力单位有三种:工程制单位(非法定计量单位),kgf/cm²;国际制单位,Pa

或 MPa；液柱高单位（非法定计量单位），毫米汞柱高 mmHg 或毫米水柱高 mmH₂O。

几种压力单位换算关系如下：

$$1\text{kgf/cm}^2 = 98066.5\text{Pa} \approx 0.1\text{MPa}$$

$$1\text{mmHg} = 13.5951\text{mmH}_2\text{O} = 133.3224\text{Pa}$$

正如空气是由于空气和水蒸气两部分组成一样，空气的压力 p 也是由于空气分压力和水蒸气分压力两部分组成的，即

$$p = p_g + p_c$$

式中 p_g ——干空气的分压力；

p_c ——水蒸气的分压力。

空气中水蒸气是由水蒸发而来的。在一定温度下，如果水蒸发越多，空气中的水蒸气就越多，水蒸气的分压力也越大，所以水蒸气分压力是反映空气所含水蒸气量的一个指标，也是空调技术中经常用到的一个参数。

在空调系统中，空气的压力是用仪表测量的，但仪表显示的压力不是空气的绝对压力值，而是“表压力”，即空气的绝对压力与当地大气压力的差值。

应当指出，只有空气的绝对压力才是其基本状态参数，一般情况下，凡未指明的工作压力均应理解为绝对压力。

3. 湿度

空气湿度是指空气中所含水蒸气量的多少，有以下几种表示方法：

(1) 绝对湿度。即每立方米空气中含有水蒸气的质量，用符号 γ_z 表示，单位为 kg/m^3 。

如果在某一温度下，空气中水蒸气的含量达到了最大值，此时的绝对湿度称为饱和空气的绝对湿度，用 γ_B 表示。空气的绝对湿度只能表示在某一温度下每立方米空气中水蒸气的实际含量，不能准确地说明空气的干湿程度，因为当温度不同时，空气的容积会发生变化。

(2) 相对湿度。为了能准确说明空气的干湿程度，在空调中采用了相对湿度这个参数。它是空气的绝对湿度 γ_z 与同温度下饱和空气的绝对湿度 γ_B 的比值，用符号 ϕ 表示。相对湿度一般用百分比表示，写作：

$$\phi = \gamma_z / \gamma_B \times 100\%$$

相对湿度 ϕ 表明了空气中水蒸气的含量接近于饱和状态的程度。显然， ϕ 值越小，表明空气越干燥，吸收水分的能力越强； ϕ 值越大，表明空气越潮湿，吸收水分的能力越弱。

相对湿度 ϕ 的取值范围在 0~100% 之间，如果 $\phi=0$ ，表示空气中不含水蒸气，属于干空气；如果 $\phi=100\%$ ，表示空气中的水蒸气含量达到最大值，成为饱和空气。因此，只要知道 ϕ 值的大小，即可得知空气的干湿程度，从而判断是否对空气进行加湿或去湿处理。

(3) 含湿量（又称比湿度）。它是指 1kg 干空气所容纳的水蒸气的质量，用符号 d 表示，单位是 g/kg （干空气）[或用 kg/kg （干空气）]。

在空气调节中，含湿量 d 是用来反映对空气进行加湿或去湿处理过程中水蒸气量的增减情况的。之所以用 1kg 干空气作为衡量标准，是因为对空气进行加湿或减湿处理时，干空气的质量是保持不变的，仅水蒸气含量发生变化，所以空调工程计算中，常用含湿量的变化来表达加湿和去湿程度。

4. 比焓

空气的焓值是指空气含有的总热量，通常以干空气的单位质量为基准，称作比焓。因此，空气的比焓（工程中常简称为焓）是指 1kg 干空气的焓和与它相对应的水蒸气的焓的总和，用符号 h 表示，单位是 kJ/kg 。

在空调工程中，参数比焓很有用处，我们可以根据一定质量空气在处理过程中比焓的变化，来判断空气是得到热量还是失去热量。空气的比焓增加，表示空气得到热量；空气的比焓减少，表示空气失去热量。利用这一原理，我们可以根据比焓的变化值（后面简称为焓值）来计算空气在处理前后得到或失去热量的多少。

在空气处理过程中，需要考虑的是空气焓值的变化量，而不是空气在某一状态下的焓值，所以，一般规定干空气的焓值以 0 为基准点（计算的起点），即 0°C 时 1kg 干空气的焓值为 0。

5. 密度和比容

空气的密度是指每立方米空气中干空气的质量与水蒸气的质量之和，用符号 ρ 表示，单位是 kg/m^3 。

由于湿空气是干空气和水蒸气的混合气体，两者均匀混合并占有相同的容积，因此，湿空气的密度等于干空气的密度与水蒸气的密度之和。

空气的比容是指单位质量的空气所占有的容积，用符号 v 表示，单位是 m^3/kg 。因密度与比容互为倒数，所以 ρ 与 v 只能看作一个状态参数。

三、相关概念

1. 露点温度

在饱和温度下，饱和空气有一个容纳水蒸气的极限值，这个值会随着温度的降低而减少。利用这一原理，我们可以通过降温的方法，使不饱和空气达到饱和，再由饱和到空气凝结出水珠，即结露。在结露之前，空气的含湿量保持不变。

因此，我们把一定大气压下，湿空气在含湿量 d 不变的情况下，冷却到相对湿度 $\phi = 100\%$ 时所对应的温度，称为露点温度，并用符号 t_L 表示。

如果空气温度降到露点温度以下，空气中水蒸气的含量超过该温度下所允许的最大限度值，此时，空气中的一部分水蒸气就会凝结成露珠而被析出，出现结露。空调器运行中蒸发器表面出现凝结水，夏天的早晨，草木、禾苗的枝叶上出现露水，都是这个原理造成的。

2. 机器露点温度

空气的露点温度与空调系统的“机器露点温度”是有区别的，后者是经过人为的对空气加湿或减湿冷却后所达到的近于饱和的空气状态。

表面式冷却器外表面的平均温度称为“机器露点温度”；经过喷水室处理的空气比较接近于 $\phi = 100\%$ 状态，习惯上将其状态称为“机器露点”。

3. 干、湿球温度

空气的干湿程度，用相对湿度 ϕ 表示，并且可以通过干湿球温度计测量出来。

干湿球温度计是由两个相同的温度计组成的，它的构造如图 1-1 所示。使用时放在通风处，其中一个放在空气中直接测量，测得的温度称为干球温度，用符号 t_g 表示；另一个温度计的感温部分用湿纱布包裹起来，纱布下端放在水槽里，水槽里盛满水，测得的温度称为湿球温度，用符号 t_{sh} 表示。

在测量过程中，除空气为饱和状态外，两个温度计读数总有差别。因为当空气未达到饱和时，湿球外面纱布上的水分总要在空气中蒸发，蒸发所需要的汽化热取自于水本身，因而水温降低，于是湿球温度就低于干球温度。

根据干湿球温度计的差值，即可确定空气相对湿度 ϕ 的大小。干湿球温度计的差值越大， ϕ 越小；反之，差值越小， ϕ 越大。这是因为空气吸收水蒸气的能力取决于空气的相对湿度 ϕ 的大小。 ϕ 值越小，空气吸收水蒸气的能力越大，湿纱布上的水分蒸发得也越多，湿球温度降得也越低，即干湿球的差值也越大。

在实际测量中，我们可以通过干湿球温度差值和湿球温度值从湿度表上查得 ϕ 值。例如：干湿球温度计上干球的温度为 36°C ，湿球的温度为 30°C 。干湿球温度的差值为 6°C 。当旋转中间的圆柱体在湿度表缝中的顶端露出数值 6°C 时，停止转动。再看湿球温度值 30°C 时所对应的湿度表上的数字，其值为 64 ，这个数字意味着当时当地空气的相对湿度 $\phi = 64\%$ 。

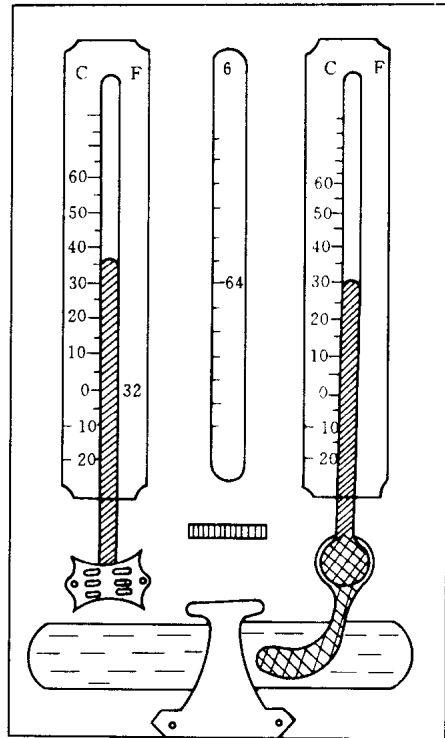


图 1-1 干湿球温度计的结构示意图

应当指出，风速大小对所测湿球温度的准确性有很大影响。当流过湿球的风速较小时，空气与湿球表面热湿交换不完善，湿球读数偏高。实践证明，当流经湿球表面的风速为 $2.5 \sim 4\text{m/s}$ 以上时，所测得的湿球温度几乎不变，数据最准确。

第三节 空气的焓—湿图

在上一节中，我们介绍了空气的状态参数，在实际的工作中，为了避免用公式繁琐地计算这些参数，人们把一定大气压下空气各参数间的关系用图线表示出来，这就是焓—湿图（即 $h-d$ 图，如图 1-2 所示）。这样一来，所有的计算工作都可转化为查图工作。

一、焓—湿图的坐标

为了使图面开阔，线条清晰，焓—湿图建立在斜角坐标上，纵坐标表示焓值，斜坐标表示含湿量，两坐标间夹角为 135° 。在实际应用中，为避免图面过长，常取一条水平轴代替含湿量 d 轴，这样， d 轴变成水平轴。

二、焓—湿图上的等参数线

1. 等焓线 (h)

等焓线是一组与纵坐标成 135° 夹角的相互平行的斜线，每条线代表一焓值且每条线上各点的焓值都相等。

2. 等含湿量线 (d)

等含湿量线是一组垂直于水平轴的直线，每条线代表一含湿量且每条线上各点的含湿量

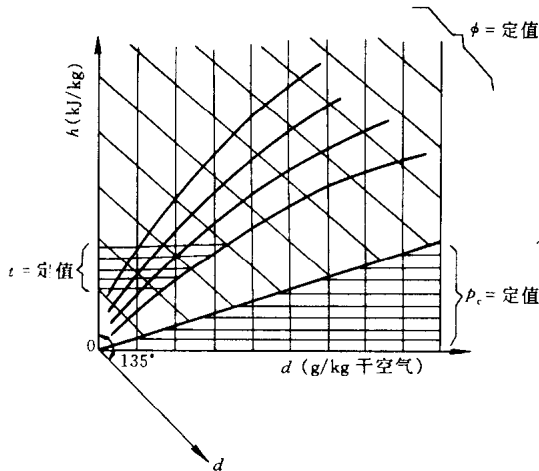


图 1-2 焓—湿图的组成

条线上各点的相对湿度值都相等。其中， $\phi = 0$ 的曲线，说明此时空气的含湿量 $d = 0$ ，即为图像的纵坐标； $\phi = 100\%$ ，说明空气的含湿量达到最大值，表示空气此时为饱和状态。

$\phi = 100\%$ 的饱和状态曲线把焓—湿图分成两个部分：饱和线左上方为空气的未饱和状态部分，即水蒸气的过热状态区；饱和线右下方为空气的过饱和状态部分，过饱和状态的空气是不稳定的，往往出现凝露现象，形成水雾，故这部分区域也称为雾状区域。

5. 等水蒸气分压力线 (p_c)

等水蒸气分压力线是一组平行于水平轴的直线，每条线代表一水蒸气分压力且每条线上各点的水蒸气分压力值都相等。

三、水蒸气分压力 p_c 与含湿量 d 的变换线

在一定的压力下，水蒸气的分压力 p_c 值与含湿量 d 值之间是一一对应的，即给定一个 d 值就可以得到一个 p_c 值。为了表征这一关系，作一条 p_c - d 变换线，画在焓—湿图的右下角。这样，已知空气的 d 值时，通过的 p_c - d 变换线就可以直接查出 p_c 值；反之，已知 p_c 值，亦可以通过 p_c - d 的变换线查出 d 值。

在焓—湿图上的任何一点都代表了空气的一个状态，而每一条线都代表了空气的状态变化过程。

需要强调的是：空气的状态与大气压力有关，每张焓—湿图都是根据某一大气压力绘制的，查图时应选取合适的焓—湿图。

第四节 空气的焓—湿图的应用

焓—湿图不仅可用来确定空气的状态参数、露点温度、湿球温度，还可以表明空气的状态在热湿交换作用下的变换过程以及分析空调设备的运行工况。

一、确定空气状态参数

焓—湿图上的每个点都代表了空气的一个状态，只要我们已知 h 、 d (或 p_c)、 t 、 ϕ 中的任意两

值都相等。

绘图时，两条等含湿量线的间距 A 与两条等焓线的间距 B 的比值应为 1:1.5。

3. 等温线 (t)

等温线是一组斜线，每条线代表一温度且每条线上各点的温度值都相等，但仔细看，可以发现这些等温线彼此间并不平行，温度越高的等温线斜率越大，即越向右上方倾斜。由于在空调范围 ($-10 \sim 40^\circ\text{C}$) 内，温度对斜率的影响不明显，所以等温线又近似平行。

4. 等相对湿度线 (ϕ)

等相对湿度线是一组向上延伸的发散形曲线，每条线代表一相对湿度且每

个参数,即可利用焓—湿图确定其他参数。

例 1-1: 在 760mmHg 的大气压下, 空气的温度 $t = 20^{\circ}\text{C}$, $\phi = 70\%$, 求空气的 h 、 d 、 p_c (见图 1-3)?

解: 首先根据 $t = 20^{\circ}\text{C}$, $\phi = 70\%$ 的交点, 确定出空气的状态点 A, 过 A 点分别沿等焓线、等含湿量线查出空气的 $h = 46\text{kJ/kg}$, $d = 10.2\text{g/kg}$ (干空气)。

p_c 值的查法是: 从 A 点沿等含湿量线向下作垂线, 与 p_c-d 变换线交于一点, 再由 B 点沿水平方向的等水蒸气分压力线查出 $p_c = 1626.7\text{Pa}$ (12.2mmHg)。

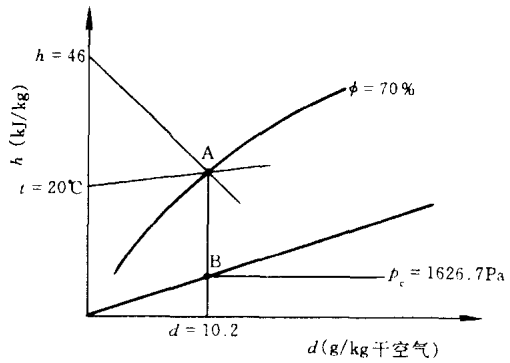


图 1-3 空气状态参数的确定

二、确定空气的露点温度 t_L

由露点温度的定义可知: 在含湿量不变的情况下给空气降温, 当空气的相对湿度 $\phi = 100\%$ 时所对应的温度即为露点温度 t_L 。

例 1-2: 在 760mmHg 的大气压下, 空气的温度 $t = 32^{\circ}\text{C}$, $\phi = 40\%$, 求空气的 t_L (见图 1-4)?

解: 首先根据 $t = 32^{\circ}\text{C}$, $\phi = 40\%$ 的交点, 确定出空气的状态点 A, 过 A 点沿等含湿量线向下与 $\phi = 100\%$ 相交于 L 点, L 点所对应的温度即为 A 点空气的露点温度, 查图得 $t_L = 17^{\circ}\text{C}$ 。

由图可知: 含湿量 d 相等的任何状态的空气 (如 A、B), 都会拥有相同的露点温度, 即等湿有同露。含湿量越大的空气 (如 A'), 露点温度就越高。

三、确定空气湿球温度 t_{Sh}

湿球温度的形成过程是: 由于纱布上的水分不断蒸发, 湿球表面形成一层很薄的饱和空气层, 这层饱和空气的温度近似等于湿球温度。这时, 空气传给水的热量又全部由水蒸气返回空气中, 所以湿球温度的形成可近似认为是一个等焓过程。

因此, 求湿球温度的方法是: 从空气的状态点沿等焓线下行, 与 $\phi = 100\%$ 的交点所对应的温度即为湿球温度 t_{Sh} 。

例 1-3: 在 760mmHg 的大气压下, 空气的温度 $t = 33.5^{\circ}\text{C}$, $\phi = 40\%$, 求空气的 t_{Sh} (见图 1-5)?

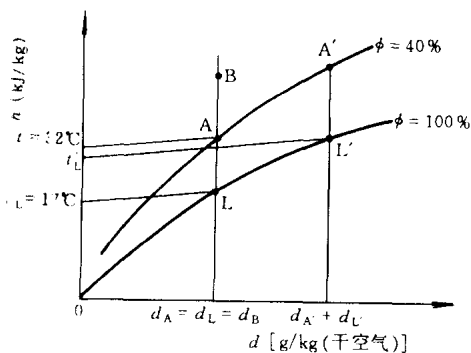


图 1-4 空气露点温度 t_L 的确定

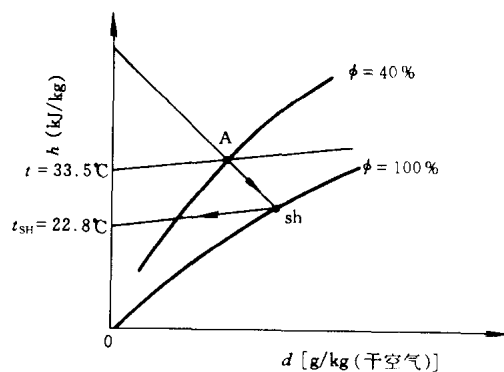


图 1-5 空气湿球温度 t_{Sh} 的确定

解:首先根据 $t = 33.5^{\circ}\text{C}$, $\phi = 40\%$ 的交点,确定出空气的状态点 A,过 A 点沿等焓线下行与 $\phi = 100\%$ 相交于 Sh 点,Sh 点所对应的温度即为 A 点空气的湿球温度,查图得 $t_{\text{Sh}} = 22.8^{\circ}\text{C}$ 。

由上图可知,如果干、湿球温度计处于饱和空气的环境中(即空气的 $\phi = 100\%$),由于此时湿纱布上的水分不再蒸发,则空气的干、湿球温度相等。

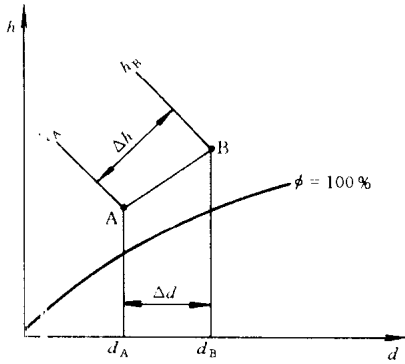


图 1-6 空气状态的变化过程

四、反映空气的状态变化过程

空气经加热、加湿、冷却、去湿处理时,其状态要发生变化。其变化过程及变化方向仍然借助于焓—湿图,用过程线来表示空气状态在热湿交换作用下的变化过程。

假设有空气状态原来为 A,质量为 G (kg),每小时加入空气的总热量为 Q (kJ),加入的水蒸气量为 W (kg),于是该空气因加热加湿变化到 B 点状态。连接 AB,直线 AB 即表示空气从 A 到 B 的变化过程(见图 1-6)。

在状态变化过程中,对于 G (kg) 空气而言,焓值变化为:

$$\Delta h = h_B - h_A = Q/G$$

含湿量变化为:

$$\Delta d = d_B - d_A = 1000W/G$$

我们把空气状态变化前后焓差 Δh 与含湿量差 Δd 的比值称为空气状态变化过程的热湿比,常用符号 ϵ (kJ/kg) 表示,即

$$\epsilon = \Delta h / (\Delta d / 1000) = Q/W$$

式中 Q ——加入的热量, kJ;

W ——加入的水蒸气量, kg。

热湿比 ϵ 实际上就是直线 AB 的斜率,它反映了空气状态变化过程的方向,故又称“角系数”。

如果知道某一过程的初状态,又知道其变化的热湿比,那么再知道其终点状态的一个参数即可确定空气状态变化过程的方向和变化后的终点状态。

由于斜率与起始位置无关,因此起始状态不同的空气,只要斜率相同,其变化过程必定互相平行。根据这一特性,可以在焓—湿图上以任意点为中心作出一系列不同值的 ϵ 标尺线,见图 1-7 (a) 所示。实际应用时,只须把等值的 ϵ 标尺线平移到空气状态点,就可绘出

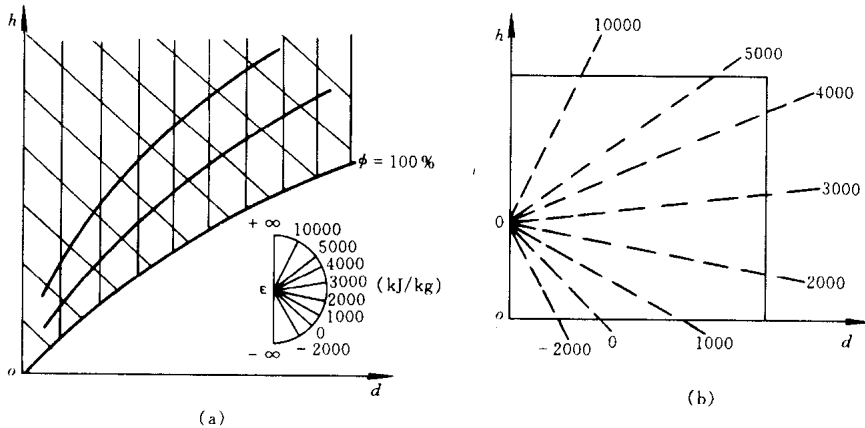


图 1-7 热湿比 ϵ 在焓—湿图上的表示

该空气的状态变化过程。

也可在焓—湿图上经过坐标原点画出不同 ϵ 值的标尺线，在焓—湿图的框外留下这些方向线的末端，以便作为推平行线的依据，这就使绘制热湿比线大大简化，见图 1-7 (b) 所示。

五、空气的处理在焓—湿图上的表示

空气的处理主要分为加热、冷却、加湿、去湿四种处理，如图 1-8 所示。

1. 等湿加热（也叫干式加热）处理

在空调过程中，常用电加热器或表面式热水换热器（或蒸气换热器）来处理空气，使空气的温度升高，但含湿量保持不变。处理过程如图 1-8 中 A→B 所示。

冬季用热水或水蒸气暖气片加热器的空气状态变化过程就属此类过程。

2. 冷却处理

(1) 等湿冷却（也叫干式冷却）处理。用表面冷却器或蒸发器处理时，如果表面冷却器或蒸发器的温度低于空气的温度，但又未达到空气的露点温度，就可以使空气冷却降温但不结露，空气的含湿量保持不变。这种处理称为等湿冷却处理。处理过程如图 1-8 中 A→C 所示。

(2) 去湿冷却处理。用表面冷却器或蒸发器处理时，如果表面冷却器或蒸发器的温度低于空气的露点温度，则空气的温度下降，并且由于多余水蒸气的析出，使含湿量也在不断减少。这种处理称为去湿冷却处理。表面冷却器盘管外表面平均温度称为“机器露点”。处理过程如图 1-8 中 A→D 所示。

3. 加湿处理

在冬季和过渡季节，室外含湿量一般比室内空气含湿量要低，为了保证相对湿度要求，往往要向空气中加湿。

(1) 等焓加湿处理。冬季，集中式空调系统用喷水室对空气进行喷淋加湿，加湿过程中使用的是循环水。在喷淋过程中，空气的温度 t 降低，相对湿度 ϕ 增加，由于空气传给水的热量仍由水分蒸发返回到空气中，所以空气的焓值 h 不变。处理过程如图 1-8 中 A→E 所示。

(2) 等温加湿处理。等温加湿可通过向空气喷水蒸气而实现。加湿用的蒸气可以兼用锅炉产生的低压蒸气，也可由电加湿器（电热式或电极式）产生。空气增加水蒸气后，含湿量 d 增加，但温度 t 近似不变。处理过程如图 1-8 中 A→F 所示。

4. 去湿处理

(1) 等焓去湿处理。用固体吸湿剂（硅胶或氯化钙）处理空气时，空气中的水蒸气被吸附，含湿量 d 降低，而水蒸气凝结所放出的汽化热使得空气温度 t 升高，所以，空气的焓值 h 基本不变。处理过程如图 1-8 中 A→G 所示。

(2) 冷却去湿处理。当用低于空气露点温度的水喷淋空气时，可使空气去湿和冷却；用低于空气露点温度的水或制冷剂通过表面冷却器时，可使流过表面冷却器管外的空气去湿和

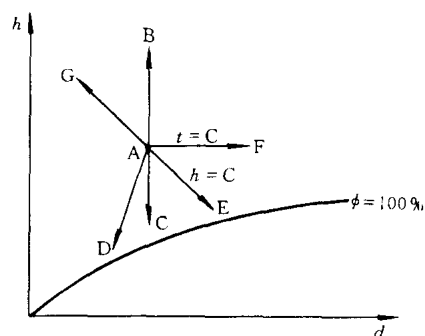


图 1-8 空气的处理在焓—湿图上的表示

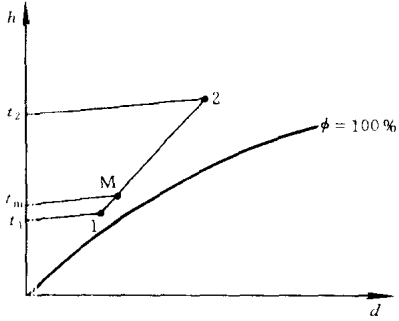


图 1-9 两种不同状态空气的混合过程

冷却。处理过程如图 1-8 中 A→D 所示。

六、确定两种不同状态空气的混合状态

在空调系统中，有时通常利用空调房间的一部分空气作为回风，与室外新风或集中处理后的空气进行混合，达到节能的目的。利用空气的焓—湿图可以方便地确定两种不同状态下空气的混合以后的状态参数，如图 1-9 所示。

设室内回风的质量为 m_1 ，状态参数为 h_1 和 d_1 ，室外新风的质量为 m_2 ，状态参数为 h_2 和 d_2 ，混合后的空气质量为 m ，状态参数为 h_m 和 d_m ，见图 1-9 所示。

根据物质的能量守恒定律：混合后的空气总质量 m 应等于混合前两种空气的质量之和；混合后的空气总热量应等于混合前两种空气的热量之和；混合后的空气总含湿量应等于混合前两种空气的含湿量之和，即

$$m = m_1 + m_2$$

$$m_1 h_1 + m_2 h_2 = (m_1 + m_2) h_m = m h_m$$

$$m_1 d_1 + m_2 d_2 = (m_1 + m_2) d_m = m d_m$$

整理上式可得：

$$\frac{h_1 - h_2}{d_1 - d_2} = \frac{h_1 - h_m}{d_1 - d_m} = \frac{h_m - h_2}{d_m - d_2} \quad (1-1)$$

$$\frac{h_1 - h_m}{h_m - h_2} = \frac{d_1 - d_m}{d_m - d_2} = \frac{m_2}{m_1} = \frac{\overline{1M}}{\overline{M2}} \quad (1-2)$$

由式 (1-1) 可知：混合点 M 必定在点 1 和点 2 的连线上；

由式 (1-2) 可知：混合点 M 将 $\overline{12}$ 线段分为两段，两段的长度 $\overline{1M}$ 与 $\overline{M2}$ 仅仅同参与混合的两种空气的质量 m_1 和 m_2 成反比。

例 1-4：某空气处理装置，一次回风量为 1800 kg/h ，状态为 $t = 22^\circ\text{C}$ ， $\phi = 60\%$ ，新风量为 200 kg/h ，状态为 $t = 35^\circ\text{C}$ ， $\phi = 40\%$ ，求蒸发器前（即混合后）的状态参数？

解：首先，在 $h-d$ 图上找出回风状态点 1 和新风状态点 2 并连线（见图 1-10）。

求出参加混合的风量比， $m_1 : m_2 = 1800 : 200 = 9 : 1$

将线段 12 分成 10 等份，因为新风量 m_2 小于回风量 m_1 ，所以混合点 m 应靠近回风点 1。

根据 $m_1 : m_2 = 9 : 1$ ，按反比关系确定出混合点 m，从 $h-d$ 图上可查出在蒸发器前状态点

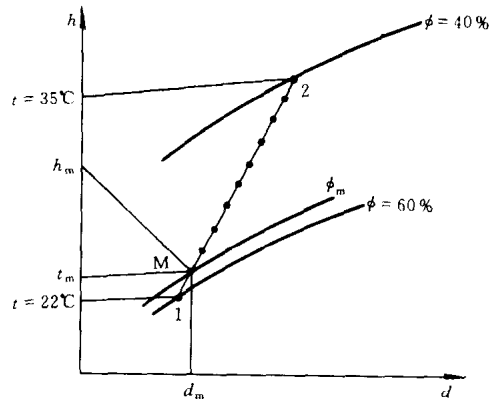


图 1-10 例题图

m 的各状态参数为： $h_m = 50.4 \text{ kJ/kg}$ ， $d_m = 10.5 \text{ g/kg}$ 干空气， $\phi_m = 58.5\%$ ， $t_m = 23.2^\circ\text{C}$ 。

第五节 空气调节负荷的估算

一、空调负荷的基本构成

空调的目的是要保持房间内的温度和湿度在一定的范围内。对于建筑物来说，客观上总存在一些干扰因素，使空调房间内的温度和湿度发生变化。空调系统的作用就是要平衡这些干扰因素产生的作用，使房间内的温度和湿度维持在要求的参数范围内。在空调技术中将干扰因素对室内产生的影响称为负荷。

在空调技术中，在某一时刻为保持空调房间内一定的温度条件而向房间内提供的冷量或热量称为空调系统的冷负荷或热负荷；为维持空调房间内的相对湿度所需要除去的湿量称为空调系统的湿负荷。空调系统的作用就是在排除室内热负荷的同时排除室内湿负荷，使室内同时维持要求的温度和湿度。

空调房间内的热湿负荷是由诸多因素构成的，其中热负荷主要由下述因素构成：

- (1) 通过房间的建筑维护结构传入室内的热流量；
- (2) 透过房间的外窗进入室内的太阳辐射的热流量；
- (3) 房间内照明设备的散热量；
- (4) 房间内人体的散热量；
- (5) 房间内电气设备或其他热源的热量；
- (6) 室外空气渗入房间的热流量；
- (7) 伴随各种散湿过程产生的潜热量。

上述因素中，除通过房间建筑维护结构和太阳辐射的热量及室外空气渗入的热流量是室外热源负荷外，其他均为室内热源负荷。

空调房间内的湿负荷是由下述因素构成的：

- (1) 房间内人体的散湿量；
- (2) 房间内各种设备、器具的散湿量；
- (3) 各种潮湿物表面或液体表面的散湿量；
- (4) 各种物料或饮料的散湿量。

空调负荷还可以分为房间负荷和系统负荷两种。发生在空调房间内的负荷称为房间负荷；还有一些发生在空调房间以外的负荷，如新风状态与室内空气状态不同所引起的新风负荷、风管传热造成的负荷等，它们不直接作用于室内，但最终也要由空调系统负担。将以上两种负荷统称为系统负荷。

二、空调负荷的估算

1. 夏季冷负荷的估算

(1) 简单算法。估算时，以围护结构和室内人员的负荷为基础，把整个建筑物看成一个大空间，按各面朝向计算负荷。室内人员散热量按 116.3 W 计算，最后将各项数量的和乘以新风负荷系数 1.5 即为估算结果。

$$Q = (Q_w + 116.3n) \times 1.5 \quad \text{W}$$