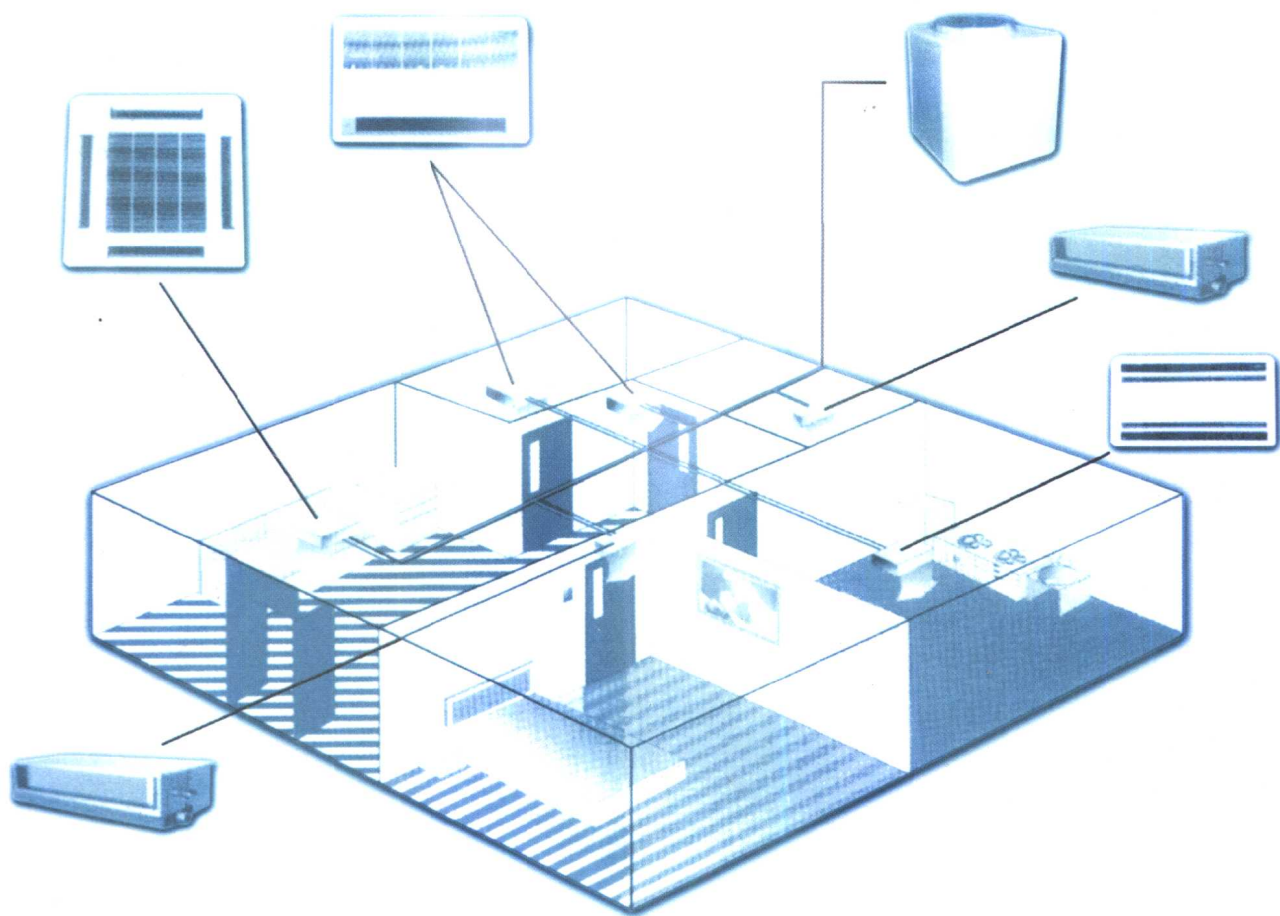


# 中央空调

本书编写组 编著

## 选型、调试、控制和维修



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOMMUNICATIONS PRESS

# 中央空调选型、 调试、控制和维修

本书编写组 编著

人民邮电出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

中央空调选型、调试、控制和维修/冯玉琪编著. 北京: 人民邮电出版社, 2002.10

ISBN 7-115-10454-9

I. 中… II. 冯… III. 集中空气调节系统—基本知识 IV. TB657.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 054133 号

## 内 容 提 要

本书以新颖实用的内容,介绍了中央空调的新设备、新技术。系统介绍了中央空调的基本原理及调试、运行、自动化控制、保养、维修、空气净化、通风工程等内容。

本书内容广泛,既适于空调制冷专业的生产、设计、运行、维修人员及物业管理人员阅读,也可作为职业技术培训的参考教材。

### 中央空调选型、调试、控制和维修

---

- ◆ 编 著 本书编写组  
责任编辑 刘文铎
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号  
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
读者热线 010-67129264  
北京汉魂图文设计有限公司制作  
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷  
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 24  
字数: 580 千字 2002 年 10 月第 1 版  
印数: 1-5 000 册 2002 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN7-115-10454-9/TN · 1911

---

定价: 31.00 元

本书如有印装质量问题,请与本社联系 电话: (010) 67129223

# 前 言

空气调节的任务，就是通过特定的专用设备和技术手段使建筑物内空气的温度、相对湿度、洁净度和流动速度达到舒适性和工艺性的要求。空气调节设备和调节方式多种多样，其中中央空调是适用于大、中型建筑物改善空气质量功能的专用设备。由空调机组、冷(热)水机组和辅助设备组成的系统称之为中央空调系统。中央空调以其功能齐全、调节完善而广泛用于现代化的建筑中。

近年来空气调节技术越来越受到重视，伴随设备的调节技术手段呈现出多样性和复杂性，其涉及到的相关学科和技术领域也越来越广，可以说空气调节技术是要求比较全面的综合性专业技术。

品种多样化、环保化和智能化是今后空调发展的趋势，相应地其专业理论和专业技能也以前所未有的速度向纵深发展。这一发展趋势要求从事这一专业的生产、科研、运行和管理人员应尽快地掌握新的知识和技能，以适应新的需要。

鉴于以上情况，我们依“在普及的基础上提高”这一原则，编写了《中央空调选型、调试、控制和维修》一书，本书重点阐述空调设备在选型、运行、调试、保养、维修以及自动控制等诸方面的内容，以满足不同层面读者的需要。

本书内容广泛、新颖实用，不仅介绍新设备、新技术，还结合现代的楼宇智能自动化管理(物业管理)突出空调整冷自动化这一重点。

本书为集体编写，参与本书编写的人员有冯玉琪、王强、刘旭等。在编写过程中参考了许多资料，在此对提供资料的有关人士表示衷心感谢。

对于本书的不足之处敬请广大读者批评指正。

**本书编写组**

# 目 录

<b>第一章 空气调节原理</b> .....	1
<b>第一节 湿空气的物理性质</b> .....	1
一、湿空气的组成 .....	1
二、湿空气的状态参数 .....	1
三、干空气、水蒸气及湿空气的关系 .....	4
<b>第二节 湿空气的焓湿图和空气线图</b> .....	4
一、焓湿图 .....	4
二、焓湿图的应用 .....	5
三、空气处理过程在焓-湿图上的表示 .....	8
四、空气线图及其应用 .....	10
<b>第三节 中央空调系统的组成</b> .....	16
一、空气调节系统的分类 .....	16
二、中央空调的结构组成 .....	19
三、中央空调系统的冷、热源 .....	21
<b>第四节 空调系统的自动控制原理</b> .....	21
一、室温控制 .....	21
二、室内相对湿度控制 .....	22
三、计算机控制 .....	22
四、智能化管理(大型中央空调) .....	23
五、VRV 控制系统(小型中央空调系统) .....	23
<b>第二章 空调房间的热湿负荷</b> .....	24
<b>第一节 空调房间热湿负荷来源及其对空调系统的影响</b> .....	24
一、空调房间热湿负荷及其来源 .....	24
二、空调房间热负荷对空调系统的影响 .....	25
<b>第二节 空调房间热湿负荷的估算</b> .....	25
一、建筑物空调负荷计算的项目和内容 .....	25
二、指标系数估算法 .....	26
三、单位面积估算法 .....	26
<b>第三章 空调设备的选择</b> .....	28
<b>第一节 空调设备选择的准备工作</b> .....	28
一、了解有关设计内容及步骤 .....	28
二、了解有关计量单位及单位换算 .....	29

三、了解空调系统的送风量和新风量 .....	32
四、了解风道内风速及制冷水系统的流速、流量及阻力 .....	33
五、了解制冷剂的分类及对环境的影响 .....	34
六、了解空调设备的造价百分比 .....	35
七、了解空调设备的耗能情况 .....	36
八、了解空调设备的噪声 .....	36
九、了解空调设备的造形、尺寸、重量及机房布置尺寸 .....	36
十、了解空调设备的使用条件 .....	37
<b>第二节 空调设备的选择方法 .....</b>	<b>37</b>
一、选择空调设备的方法 .....	37
二、中央空调组合式空调机的选用实例 .....	38
三、水源热泵空调机的选用实例 .....	38
四、空气处理机的选用实例 .....	39
五、空气调节箱的选用实例 .....	43
六、柜式空调机的选用实例 .....	50
七、水冷柜式空调机的选型实例 .....	53
八、长沙远大直燃吸收式制冷机选用实例 .....	55
九、风机盘管选用实例 .....	57
十、水泵选用实例 .....	64
十一、冷却水塔选用实例 .....	67
<b>第四章 蓄冰空调及水源热泵 .....</b>	<b>69</b>
<b>第一节 蓄冰空调 .....</b>	<b>69</b>
一、蓄冰空调原理与蓄冰方式 .....	69
二、蓄冰空调设备的特点及运行方式 .....	70
三、蓄冰系统设计及实例 .....	73
四、选择系统配置型式 .....	75
五、确定制冷机组及蓄冰设备的容量 .....	75
六、蓄冰系统方案设计举例 .....	76
七、安装步骤 .....	78
<b>第二节 水源热泵 .....</b>	<b>79</b>
一、热能的回收 .....	79
二、水源热泵系统的组成及运行模式 .....	80
三、水源热泵系统的设计要点 .....	81
四、设备的检修 .....	87
五、环路参数 .....	88
六、控制 .....	91
七、安装调试注意事项 .....	92
八、水源热泵系统的优越性 .....	93

<b>第五章 空调通风风道的设计与安装</b> .....	95
<b>第一节 通风风道的设计因素</b> .....	95
一、通风风道的设计因素 .....	95
二、风道计算简介 .....	95
<b>第二节 通风风道的自动设计简介</b> .....	97
<b>第三节 风速和风口</b> .....	99
一、建筑物通风量的推荐值 .....	99
二、气流组织 .....	99
三、风速 .....	100
四、送风风口气流形式 .....	101
<b>第四节 通风管道制作安装与保温</b> .....	101
一、通风管道的选择 .....	101
二、风管制作 .....	103
三、风管的保冷和保温 .....	106
四、风管支架的安装 .....	108
五、风管的试压 .....	109
<b>第六章 中央空调的调节方案</b> .....	110
<b>第一节 单风道空调系统的调节方案</b> .....	110
一、全新风系统 .....	110
二、一次回风系统 .....	111
三、二次回风系统 .....	113
四、单风道空调系统的全年调节运行 .....	115
<b>第二节 双风道空调系统的调节方案</b> .....	118
<b>第三节 变风量空调系统的调节方案</b> .....	119
一、变风量空调系统的构成 .....	119
二、变风量空调系统的调节 .....	121
<b>第四节 风机盘管空调器的调节方案</b> .....	123
一、有单独新风系统的调节方法 .....	123
二、墙洞引入新风系统的调节方法 .....	123
三、处理再循环风的风机盘管系统的调节方法 .....	124
<b>第五节 风机盘管的新风处理方案</b> .....	125
<b>第六节 中央空调系统的运行管理</b> .....	126
一、空调制冷设备正式运行前的准备工作 .....	126
二、空调系统的准备工作 .....	127
三、中央空调的运行管理 .....	127
<b>第七章 中央空调系统的自动控制</b> .....	131
<b>第一节 空调制冷自动控制的基本知识</b> .....	132

一、空调系统的自动调节分类 .....	132
二、双位调节 .....	132
三、多位调节 .....	135
四、比例调节 .....	135
五、积分调节 .....	136
六、比例积分调节 .....	137
七、微分调节 .....	138
八、比例积分微分调节 .....	138
<b>第二节 空调系统的自控方式 .....</b>	<b>138</b>
一、新风补偿控制 .....	138
二、送风补偿控制 .....	140
三、新风量的调节控制 .....	142
四、空调机组的定露点控制 .....	143
五、空调机组的变露点控制 .....	144
六、新风机组的自动控制 .....	145
七、空调系统的最佳启停控制 .....	146
八、风机盘管与空调机组、新风机组的控制 .....	147
九、空调冷/热水系统压差旁通控制 .....	155
十、空调及采暖的热交换器控制 .....	157
<b>第三节 空调制冷自动控制 .....</b>	<b>157</b>
一、空调制冷自动控制概要 .....	157
二、蒸气压缩制冷机的自动控制 .....	159
三、空调冷冻水系统的自动控制 .....	160
四、空调冷却水冷却塔自动控制 .....	161
五、溴化锂吸收式制冷机自动控制 .....	162
<b>第四节 变风量空调系统自动控制 .....</b>	<b>171</b>
一、变风量空调系统(VAV)控制原理 .....	171
二、变风量空调系统(VAV)新风量的控制 .....	176
三、专设新风机系统的控制 .....	178
四、变风量 STU 末端 .....	178
五、变风量 STU 末端装置的应用实例 .....	190
<b>第五节 制冷空调微型计算机控制 .....</b>	<b>192</b>
一、微型计算机控制概述 .....	192
二、单片机控制器 .....	196
三、新风机组的监测控制 .....	201
四、空调系统的监测控制 .....	202
五、变风量系统的控制 .....	203
六、冷、热源基本监测与控制 .....	204
七、冷却水系统的监测控制 .....	205



八、冷冻水系统的监测控制 .....	206
九、热水设备系统的监测与控制 .....	208
十、辅助系统计算机的配置 .....	209
<b>第六节 楼宇自动化系统(即 BAS 系统) .....</b>	<b>210</b>
一、BAS 系统 .....	210
二、BAS 系统的配置 .....	213
三、综合 BAS 系统 .....	215
四、智能型触摸式小型管理面板 .....	221
<b>第七节 空调制冷电路及控制器 .....</b>	<b>229</b>
一、恒温恒湿机微电脑控制电路 .....	229
二、风机盘管单片机控制电路 .....	230
三、离心式冷水机组电路 .....	234
四、螺杆式冷水机组控制电路 .....	237
五、活塞式冷水机组的控制电路 .....	243
六、中央空调控制器介绍 .....	248
<b>第八章 中央空调系统的净化处理 .....</b>	<b>255</b>
<b>第一节 空调房间内空气的净化要求 .....</b>	<b>255</b>
一、净化等级分类 .....	255
二、净化等级线解图 .....	256
<b>第二节 空气过滤器的工作原理及过滤效率规格 .....</b>	<b>256</b>
一、过滤机理 .....	256
二、过滤器性能指标 .....	257
三、过滤效率规格 .....	259
<b>第三节 空气过滤器 .....</b>	<b>260</b>
一、空气过滤器的主要类型 .....	260
二、袋式过滤器 .....	260
三、MZ 密褶式过滤器 .....	264
四、高效过滤器 .....	266
五、经济型 PAN 系列板式过滤器 .....	271
六、拼装过滤段用的框架 .....	273
<b>第四节 空气过滤器的阻力及测试 .....</b>	<b>275</b>
一、过滤器阻力 .....	275
二、阻力监测仪表 .....	276
<b>第五节 净化空调机 .....</b>	<b>276</b>
一、净化指标及净化流程 .....	276
二、净化空调机性能参数 .....	277
<b>第九章 中央空调的保养和维修 .....</b>	<b>279</b>
<b>第一节 空调用制冷设备的检修和保养 .....</b>	<b>279</b>

---

一、活塞式制冷机的检修 .....	279
二、螺杆制冷机的检修 .....	286
三、离心式制冷机的检修 .....	290
四、制冷设备的保养 .....	296
第二节 溴化锂吸收式制冷机的调试、运转及维修保养 .....	299
一、调试及运转 .....	299
二、故障分析及排除 .....	305
三、运行管理及保养 .....	314
四、溴化锂吸收式制冷机过渡时期运行与管理 .....	323
第三节 冷却塔、水泵、风机的选型及检修 .....	325
一、冷却塔 .....	325
二、水泵 .....	329
三、风机 .....	331
第四节 空调系统的故障及检修 .....	332
一、空调系统的主要故障 .....	332
二、空调制冷设备的保养维修内容 .....	333
第五节 空调系统运行故障及其排除 .....	349
一、空调房间的温、湿度要求 .....	349
二、中央空调常见运行效果不佳的原因分析及处理 .....	355
三、在空调检修前后对系统的测定 .....	358

# 第一章 空气调节原理

## 第一节 湿空气的物理性质

### 一、湿空气的组成

大气中含有多种气体、水蒸气和杂质。从大气中除去全部水蒸气和杂质时，所剩即为干空气。

干空气是由氮、氧、氩、二氧化碳、氖、氦和其它一些微量气体所组成的混合气体。广泛的测定结果表明，干空气的组成是比较稳定的。在空调工程中，为了进行热工计算，必须确定干空气的热工性质，而热工性质又与干空气的成分有关。

干空气中除二氧化碳外，其它气体的含量是很稳定的。而二氧化碳的含量则随动、植物生长状态、气象条件、海水表面温度、污染状态等有一定的变化。然而，由于其平均含量非常少，故其含量的变化对干空气性质的影响可以忽略不计。在研究空气物理性质时，允许将干空气作为一个整体来对待。

干空气和水蒸气的混合气体称为湿空气。湿空气中水蒸气的含量很少。它主要来源于地球上的江、河、湖、海表面水分的蒸发，各种生物的新陈代谢过程以及生产工艺过程也有蒸发。水蒸气在湿空气中占有的百分比是经常变化的，虽然湿空气中水蒸气的含量很少，但它对湿空气状态变化的影响却很大。由于它的变化会引起湿空气干、湿度的改变，从而对人体的感觉、产品质量、工艺过程和设备维护等都有直接的影响，这是不能忽视的。同时，空气中水蒸气含量的变化又会使湿空气的物理性质随之改变。

### 二、湿空气的状态参数

#### 1. 干、湿球温度

在空调运行中，经常使用干、湿球温度计来测量空气的温度和湿度。干湿球温度计由两支相同的温度计组成。其中一支的感温包裹上脱脂棉纱布，纱布的下端浸入盛有蒸馏水的玻璃小杯中，在毛细管作用下纱布经常处于润湿状态，将此温度计称为湿球温度计。使用时，在热湿交换达到平衡，即稳定的情况下，所测得的读数称为空气的湿球温度；另一支未包纱布的温度计相应地称为干球温度计，它所测得的温度称为空气的干球温度，也就是实际的空气温度。我们分别用  $t$  和  $t_s$  表示空气的干球湿度和湿球温度。

湿球温度计的读数，实际上反映了湿纱布上水的温度。但是值得注意的是，并不是任一读数都可以认为是湿球温度，只有在热湿交换达到平衡、即稳定条件下的读数才称之为湿球温度  $t_s$ 。

当空气的相对湿度  $\phi < 100\%$  时，纱布上的水必然要蒸发。当空气相对湿度较低时，湿球纱布上的水分蒸发快，蒸发需要的热量多，水温下降得也愈多，因而干、湿球温差大。反之，如空气相对湿度大，则干、湿球温差小。当  $\phi = 100\%$  时，湿纱布上的水分不再蒸发，干、湿球温度也就相等了。由此可见，在一定的空气状态下，干、湿球温度的差值反映了空

气相对湿度的大小。

实践证明,当空气流速 $\geq 2.5\text{m/s}$ 时,空气流速对热、湿交换过程的影响已不显著,湿球温度趋于稳定。因此,要准确地反映空气的相对湿度,应使湿球周围的空气流速保持在 $2.5\text{m/s}$ 以上。

目前国际上常用的有绝对温标(又称开氏温标),符号为 $T$ ,单位 $\text{K}$ ;摄氏温标,符号 $t$ ,单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。摄氏温标 $1^{\circ}\text{C}$ 和开氏温标 $1\text{K}$ 的分度是相等的,两者的关系为:

$$t = T - 273.15 \approx T - 273$$

式中,273.15是冰点的热力学温度。

## 2. 压力

围绕地球表面的空气层在单位面积上所形成的压力称大气压力,它的单位以帕(Pa)或千帕(kPa)表示。

大气压力不是一个定值,它随各地海拔高度不同而存在差异,同时还随着季节、天气的变化而稍有高低。

通常以北纬45度处海平面的全年平均气压作为一个标准大气压力或物理大气压,其数值为 $101325\text{Pa}$ 。海拔高度越高的地方大气压力越低。例如,我国北部沿海城市天津海拔高度 $3.3\text{m}$ ,夏季大气压力为 $100480\text{Pa}$ ,冬季为 $102660\text{Pa}$ ;西藏高原上的拉萨市海拔高度为 $3658\text{m}$ ,夏季的大气压力为 $65239\text{Pa}$ ,冬季为 $65000\text{Pa}$ 。由上可见,大气压力不仅与海拔高度有关,还随季节、气候不同而有微小变化。由于大气压力不同,空气的状态参数也要发生变化。因此在空调系统设计和运行中使用的一些空气参数,如果不考虑当地大气压力的大小,就会造成一定的误差。

在空调系统中,空气的压力是用仪表测出的,但计表指示的压力不是空气压力的绝对值,而是与当地大气压力的差值,称之为工作压力(过去叫表压力)。它不能代表空气压力的真正大小,只有空气的绝对压力才是空气的一个基本状态参数。工作压力与绝对压力的关系为:

$$\text{绝对压力} = \text{当地大气压} + \text{工作压力(表压力)}$$

## 3. 水蒸气分压力

湿空气中,水蒸气单独占有湿空气的容积,在具有与湿空气相同的温度时所产生的压力,称之为水蒸气分压力。用 $P_q$ 表示。

道尔顿定律指出:混合气体的总压力等于各组成气体分压力之和。每种气体都处于各分压力作用之下,参与组成的各种气体都具有与混合气体相同的体积和温度。

大气既然是由于空气和水蒸气组成,那么大气压力也就必然是水蒸气分压力和干空气分压力之和,即:

$$P = P_g + P_q$$

或

$$B = P_g + P_q$$

式中  $P$ 、 $B$ ——湿空气的总压力,即大气压力;

$P_g$ ——干空气分压力;

$P_q$ ——水蒸气分压力。

## 4. 空气的含湿量

湿空气是由干空气和水蒸气组成的,其中每 $\text{kg}$ 干空气所含有的水蒸气量称为含湿量 $d$ ,

即：

$$D = \frac{G_q}{G_g} \text{ kg/kg}_{da}$$

式中  $G_q$ ——湿空气中水蒸气的质量，kg；

$G_g$ ——湿空气中干空气的质量，kg；

下脚标 da——干空气的英文(dry air)缩写。

若湿空气中含有 1kg 干空气及  $d$  kg 水蒸气，则湿空气质量应为  $(1+d)$ kg。

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  $P_q$  愈大，含湿量  $d$  也随着增大。如果含湿量  $d$  不变，水蒸气分压力将随大气压力的增加而上升，随着大气压力的减小而下降。

### 5. 空气的绝对湿度

空气湿度的表示方法，除含湿量以外，还可用绝对湿度，即每立方米湿空气中所含有的水蒸气量( $\text{kg}/\text{m}^3$  湿空气)来表示，但绝对湿度使用起来不方便，因为水分蒸发和凝结时，湿空气中的水蒸气质量是变化的，而且湿空气的容积还随温度而变化。因此，即使水蒸气质量不变，由于湿空气容积的改变，绝对湿度亦将相应地变化，因而不能确切地反映湿空气中水蒸气量的多少。而干空气在温度和湿度发生变化时其质量不变。含湿量仅随水蒸气量而变，因此它可以方便地度量空气中的水蒸气量。在空气调节中，含湿量也是空气的一个重要参数，在对空气进行加湿、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。

### 6. 空气的相对湿度

在一定的温度下，湿空气所含的水蒸气量有一个最大限度，超过这一限度，多余的水蒸气就会从湿空气中凝结出来。这种含有最大限度水蒸气量的湿空气被称为饱和空气。与之相对应的水蒸气分压力和含湿量，称做该温度下湿空气的饱和水蒸气分压力和饱和含湿量。它们随温度的变化而相应变化，如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1 空气温度与饱和水蒸气分压力、饱和含湿量的关系

空气温度 $t$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	饱和水蒸气分压力 $P_{q,b}$ (Pa)	饱和含湿量( $B = 101325\text{Pa}$ ) $d_b$ ( $\text{g}/\text{kg}_{da}$ )
10	1225	7.63
20	2331	14.70
30	4232	27.20

由于含湿量只能反映出空气中含的水蒸气量的多少，而不能反映空气的吸湿能力，因此，我们引出了另一个湿空气的状态参数——相对湿度。

所谓相对湿度，就是空气中水蒸气分压力和同温度下饱和水蒸气分压力之比：

$$\phi = \frac{P_q}{P_{q,b}} \times 100\%$$

式中  $\phi$ ——相对湿度；

$P_q$ ——空气的水蒸气分压力；

$P_{q,b}$ ——同温度下空气的饱和水蒸气分压力。

相对湿度表示空气接近饱和的程度。 $\phi$  值小，说明空气饱和程度小，吸收水气的能力

强； $\phi$  值大则说明空气饱和程度大，吸收水气的的能力弱。当  $\phi$  为 100% 时，指的是饱和空气；反之  $\phi$  为零，指的是干空气。

应该注意的是相对湿度含湿量虽然都是表示空气湿度的参数，但意义却有不同：相对湿度  $\phi$  能够表示空气接近饱和程度，却不能表示水蒸气含量的多少，而含湿量  $d$  恰与之相反，能表示水蒸气的含量，却不能表示空气的饱和程度。

### 7. 空气的焓

在空调工程中，湿空气的状态经常发生变化，也经常需要确定此状态变化过程中的热交换量。例如，对空气进行加热和冷却时，常需要确定空气吸收或放出多少热量。从热工基础可知，在压力不变的情况下，焓差值等于热交换量。

在空调工程中，湿空气的状态变化过程可属于定压过程。所以能够用空气状态前后的焓差值来计算空气热量的变化。

1kg 干空气的焓和  $d$  kg 水蒸气的焓两者的总和，称为  $(1+d)$ kg 湿空气的焓。

湿空气的焓将随温度和含湿量的改变而变化。当温度和含湿量升高时，焓值增加；反之，焓值则降低。在使用焓这个参数时须注意一点，在温度升高，同时含湿量又有所下降时，湿空气的焓值不一定会增加，而完全有可能出现焓值不高，或焓值减少的现象。

### 8. 空气的密度和比容

单位容积空气所具有的质量称为空气的密度  $\rho$ 。而单位质量的空气所占有的容积称为空气的比容。两者互为倒数，因此只能视为一个状态参数。

湿空气为干空气与水蒸气的混合物，两者均匀混合并占有相同的容积。因此不难理解，湿空气的密度  $\rho$  为干空气密度  $\rho_g$  与水蒸气密度  $\rho_q$  之和。

## 三、干空气、水蒸气及湿空气的关系

干空气、水蒸气及湿空气三者之间的关系可归纳为如图 1-1-1 所示。

湿空气的部分状态参数可查阅附录一，也可用公式计算得到。计算虽较烦琐，但通过它可以对湿空气的物理性质及各状态参数之间的关系有较透彻的了解。

由图 1-1-1 可见干空气与湿空气之间有如下计算关系：

温度： $T = T_g = T_q$ ；焓： $h = h_g + dh_q$ ；

容积： $v = v_g = v_q$ ；密度： $\rho = \rho_g + \rho_q$ ；

质量： $G = G_g + G_q$ ；压力： $P(B) = P_g + P_q$ 。

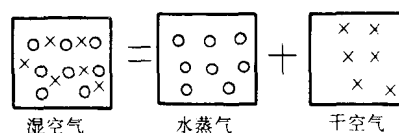


图 1-1-1 湿空气与干空气和水蒸气关系图

## 第二节 湿空气的焓湿图和空气线图

### 一、焓湿图

在空调制冷技术中，经常用到一些线图如湿空气的焓-湿图，此图是以空气的焓和含湿量为纵横坐标的焓湿图，也叫  $h-d$  图(原叫  $i-d$  图)，详见本书附录二。由图可知  $h-d$  图上有几组等参数线，如等温线(第  $t$  线)、等焓线(等  $h$  线)、等含湿量线(等  $d$  线)、等相对湿度

线(等  $\phi$  线)及水蒸气压力线、热湿比线等等。简化的湿空气焓-湿图见图 1-2-1 所示。

应该指出,大气压力的变化对湿空气的  $h-d$  图是有影响的。就是说,对于不同的大气压力应该选用不同的  $h-d$  图,但是对于大气压力相差不大的(一般大气压力  $B$  的变化小于  $10^3\text{Pa}$ ),因计算误差不大,所以允许采用同一张  $h-d$  图,这在实际工程中也是允许的。

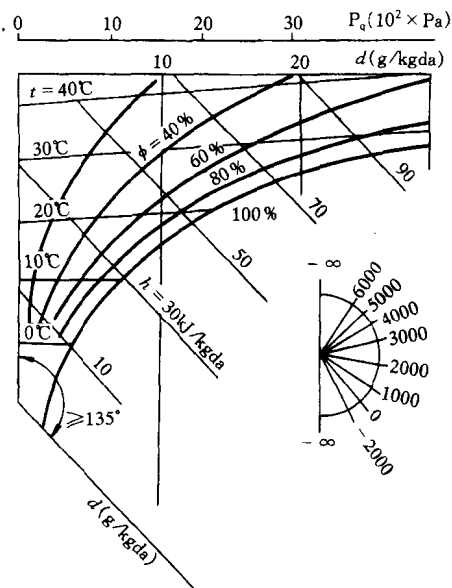


图 1-2-1 焓湿图

## 二、焓湿图的应用

### 1. 确定空气状态

已知原始条件为:  $t_A = 20^\circ\text{C}$ 、 $\phi_A = 60\%$  的湿空气吸收  $10000\text{kJ/kg}$  的热量和  $2\text{g/kg}$  的湿量。

#### (1) 平行线法

在大气压力为  $101325\text{Pa}$  的  $h-d$  图上,按  $t_A = 20^\circ\text{C}$ 、 $\phi_A = 60\%$  确定出空气初状态点  $A$ 。

已知空气所吸收的热量与湿量,则热湿比:

$$\epsilon = \frac{A}{W} = \frac{10000}{2} = 5000$$

根据此值,在图的热湿比标尺上找到相应的  $\epsilon$  线。然后过  $A$  点作该线的平行线,即为空气状态变化过程线。此线与  $t = 28^\circ\text{C}$  等温线的交点  $B$ ,就是空气终状态点,如图 1-2-2 所示。由图可知,  $\phi_B = 51\%$ 、 $t_B = 28^\circ\text{C}$ 、 $h_B = 59\text{kJ/kg}$ 。

#### (2) 辅助点法

由已知条件求得:  $\epsilon = \Delta h / \Delta d = 10000 / 2 = 5000$ ,如  $\Delta d$  以  $\text{g}$  为单位表示,则  $\Delta h : \Delta d = 5 : 1$ 。由  $\Delta h$  与  $\Delta d$  的比例关系可以绘出过  $A$  点的  $\epsilon$  线。 $\Delta d$  可任意取,如取  $\Delta d = 4\text{g/kgda}$ ,则  $\Delta h = 5 \times 4 = 20\text{kJ/kgda}$ ,现分别作离开空气初状态点  $A$  的  $\Delta d$  等湿量线与  $\Delta h$  等焓线,两线交于  $B'$  点,  $AB'$  连线即为  $\epsilon = 5000$  空气状态变化过程线。如图 1-2-3 所示。 $AB'$  线与  $d = 12\text{g/kgda}$  等含湿量线的交点  $B$ ,就是所求的空气状态点。这里  $B'$  点是辅助点。

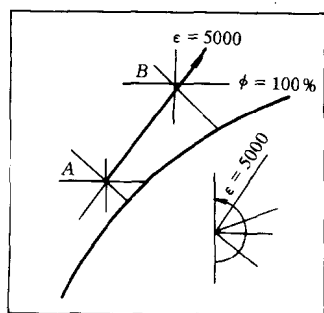


图 1-2-2 用  $\epsilon$  线确定空气终状态

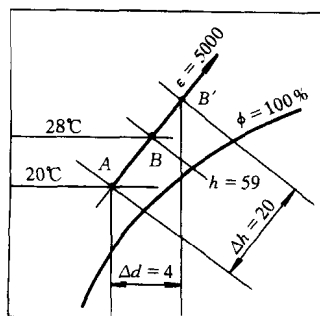


图 1-2-3 用辅助点法绘制  $\epsilon$  线

为了清楚地表示空气变化过程进行的方向是由  $A \rightarrow B$ ,也可将  $\epsilon$  线画成带箭头的线。

已知某地大气压  $B = 101325\text{Pa}$ ，用通风干湿球温度计测得  $t = 45^\circ\text{C}$ 、 $t_s = 30^\circ\text{C}$ ，试用  $h-d$  图求出该空气的状态 ( $\phi, h, d$ )。

在  $B = 101325\text{Pa}$  的  $h-d$  图上，用  $t_s = 30^\circ\text{C}$  的等温线与  $\phi = 100\%$  的饱和线相交得 B 点，过 B 点作等焓线与  $t = 45^\circ\text{C}$  的等温线交于 A 点。该点即是所求的空气状态点 (见图 1-2-4)。由  $h-d$  图可知  $\phi_A = 34.8\%$ 、 $h = 100\text{kJ/kg}_{\text{da}}$ 、 $d_A = 0.0211\text{kg/kg}_{\text{da}}$ 。

A 点实际为近似的空气状态点，而真正的状态点应是 A'。即过 B 点的  $\epsilon = 4.19 \times 30 = 125.7$  过程线与  $t = 45^\circ\text{C}$  等温线所交之点。由  $h-d$  图得知， $\phi_{A'} = 34\%$ 、 $h'_{A'} = 98.6\text{kJ/kg}_{\text{da}}$ 、 $d'_{A'} = 0.0206\text{kg/kg}_{\text{da}}$ 。

### 2. 两种不同状态空气的混合状态之确定

在空气调节系统的计算过程中，经常遇到不同状态的空气相混合的情况，为此，必须研究空气的混合规律。

假设质量流量为  $G_A$  (kg/s)、状态为 A ( $h_A, d_A$ ) 的空气和质量流量为  $G_B$  (kg/s)、状态为 B ( $h_B, d_B$ ) 的两种空气相混合。混合后空气质量流量为  $G_C = G_A + G_B$  (kg/s)，状态为 C ( $h_C, d_C$ )。

在混合过程中，如果与外界没有热、湿的交换，根据热平衡和湿平衡原理，可以列出下列方程式：

$$G_A \cdot h_A + G_B \cdot h_B = G_C \cdot h_C$$

$$G_A \cdot d_A + G_B \cdot d_B = G_C \cdot d_C$$

将  $G_C = G_A + G_B$  代入上两式中即：

$$G_A \cdot h_A + G_B \cdot h_B = (G_A + G_B) \cdot h_C$$

$$G_A \cdot d_A + G_B \cdot d_B = (G_A + G_B) \cdot d_C$$

用  $G_B$  除上两式，并整理后可得：

$$\frac{G_A}{G_B} = \frac{h_B - h_C}{h_C - h_A}$$

$$\frac{G_A}{G_B} = \frac{d_B - d_C}{d_C - d_A}$$

综合两式可得：

$$\frac{G_A}{G_B} = \frac{h_B - h_C}{h_C - h_A} = \frac{d_B - d_C}{d_C - d_A}$$

$$\frac{h_B - h_C}{d_B - d_C} = \frac{h_C - h_A}{d_C - d_A}$$

由前述可知，在  $h-d$  图上  $\frac{h_B - h_C}{d_B - d_C}$  是直线  $\overline{BC}$  的斜率，而  $\frac{h_C - h_A}{d_C - d_A}$  是直线  $\overline{CA}$  的斜率。两条直线的斜率相同，因此直线  $\overline{BC}$  和  $\overline{CA}$  互相平行，但又有 C 为公共点，因而 A、B、C 三点必然在同一直线上，如图 1-2-5 所示。

下面进一步分析混合点 C 在 AB 线上的位置，根据三角形相似原理，从图 1-2-5 可得到

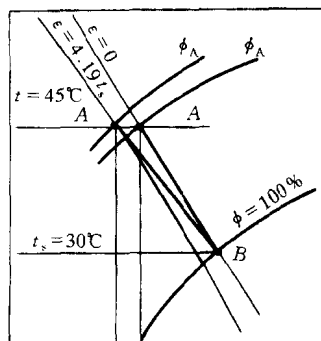


图 1-2-4 根据干、湿球温度确定空气状态



下式：

$$\frac{\overline{BC}}{\overline{CA}} = \frac{h_B - h_C}{h_C - h_A} = \frac{d_B - d_C}{d_C - d_A} = \frac{G_A}{G_B}$$

上式表明混合点 C 将线段 AB 分成两段，两段长度之比和参与混合的两种空气的质量成反比，混合点靠近质量大的空气状态一端。

以上即为“混合规律”。利用混合规律可以很快地求出混合空气状态点。即只要已知参与混合的两种空气状态及质量，就可按质量反比分割其连线，分割点即为混合状态点，状态参数可查图求出，也可以根据已知条件列出相应的比例式来解出。

如果混合点 C 出现在“有雾区”，这种空气状态只能是暂时的，多余的水蒸气立即凝结为水从空气中分离出来，空气仍恢复到饱和状态。

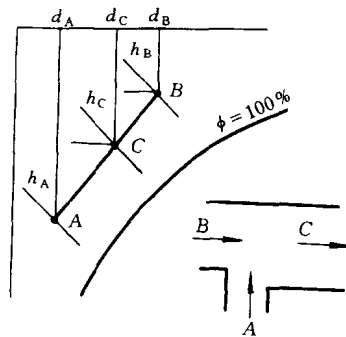


图 1-2-5 两种状态的空气混合过程

### 3. 求湿空气的露点温度

空气的饱和含湿量随着空气温度的下降而减少。现把不饱和状态的空气 A 沿等含湿量线冷却。随着空气温度的下降，对应的饱和含湿量减少，而实际含湿量并未变化，因此空气相对湿度增大。当温度下降至  $t_1$  时，相对湿度达 100%，这时空气本身的含湿量也已饱和，如再继续冷却，则会有凝结水产生。由此可见， $t_1$  为空气结露与否的临界温度。空气沿等含湿线冷却，最终达饱和时所对应的温度即为露点温度，而饱和点 C 称为露点。显然，空气的露点只取决于空气的含湿量，当含湿量不变时，露点温度亦为定值，见图 1-2-6 (a)。

由于含湿量和水蒸气分压力呈对应关系，因此，露点温度也可理解为饱和水蒸气分压力所对应的温度。

在空气调节中，常用等湿冷却将空气温度降到露点，再进一步冷却使水蒸气凝结，从而达到降温除湿的目的。

已知某地大气压  $B = 101325\text{Pa}$ ，用通风干湿球温度计测得  $t = 45^\circ\text{C}$ 、 $t_s = 30^\circ\text{C}$ ，试用  $h-d$  图求出该空气的状态 ( $\phi, h, d$ )。

在  $B = 101325\text{Pa}$  的  $h-d$  图上，用  $t_s = 30^\circ\text{C}$  的等温线与  $\phi = 100\%$  的饱和线相交得 B 点，过 B 点作等焓线与  $t = 45^\circ\text{C}$  的等温线交于 A 点。该点即是所求的空气状态点，见图 1-2-6 (b)。由  $h-d$  图可知  $\phi_A = 34.8\%$ 、 $h = 100\text{kJ/kg}_{\text{da}}$ 、 $d = 0.0211\text{kg/kg}_{\text{da}}$ 。

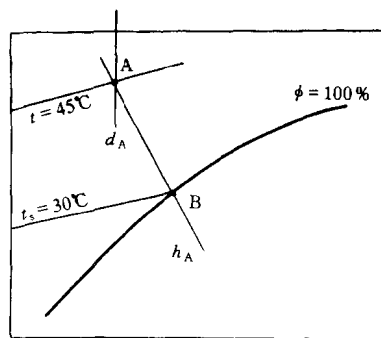


图 1-2-6 根据干、湿球温度确定空气状态

已知某地大气压力  $B = 101324\text{Pa}$ ，温度  $t = 20^\circ\text{C}$  相对湿度  $\phi = 60\%$ ，求空气的湿球温度和露点温度。

在  $h-d$  图上(见图 1-2-7)，按  $t = 20^\circ\text{C}$ 、 $\phi = 60\%$  确定空气状态点 A，过 A 点引等焓线 ( $h = 42.54\text{kJ/kg}_{\text{da}}$ ) 与  $\phi = 100\%$  线相交得 B 点，B 点的温度即为空气状态 A 点的湿球温度， $t_s = 15.2^\circ\text{C}$ 。