

制冷高级工应知教材

ZHILENG GAOJI GONG
YINGZHI JIAOCAI

空调工程与设备

—— 原理·结构·操作·维修
KONGTIAO

GONGCHENG
主编 陈维刚 主审 徐德胜

YU SHEBEI



上海交通大学出版社

制冷高级工应知教材

空调工程与设备

——原理·结构·操作·维修

胜刚工作室组编

陈维刚 主 编
徐德胜 主 审

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书根据上海市制冷设备维修工培训大纲编写,和《制冷工程与设备》并列作为高级工应知培训的专业教材。本课程要求学员掌握空调工程的基础理论知识,空调系统及设备的安装、调试、操作与维修,并能带班生产,组织大修和更换设备。全书共9章:1. 空调基础知识;2. 房间空调器;3. 单元式空调机;4. 中央空调系统及设备;5. 中央空调用制冷机组;6. 空调自动控制;7. 空调噪声与消声;8. 系统测试和调整;9. 车船空调的结构特点等。书末附制冷剂替代介绍及空调工程附表。

本书可作为高级制冷设备维修工的应知培训教材,也可作为制冷空调运行管理和维修人员的工作参考书。

图书在版编目(CIP)数据

空调工程与设备:原理、结构、操作、维修/陈维刚主编.
—上海:上海交通大学出版社,2001
高级制冷工应知教材
ISBN 7-313-02651-X

I. 空… II. 陈… III. 空气调节设备-技术培训-教材
IV. TU831.4
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 10337 号

空调工程与设备

——原理·结构·操作·维修

陈维刚 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话: 64071208 出版人: 张天蔚

立信会计常熟市印刷联营厂印刷 全国新华书店经销

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 34.75 字数: 997 千字

2001 年 8 月第 1 版 2001 年 8 月第 1 次印刷

印数: 1~6050

ISBN 7-313-02651-X/TU·046 定价: 40.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

随着我国社会主义市场经济的迅速发展和人民生活水平的提高,空调技术在各方面都得到了广泛的应用,为了普及制冷与空调技术知识,提高现有制冷中级技工的知识和技能水平,更好地为社会服务,我们根据上海市制冷设备维修工培训大纲(试行稿)的要求,在多年技工培训教学的实践基础上,编写了《空调工程与设备——原理、结构、操作、维修》一书,它与即将出版的《制冷工程与设备——原理、结构、操作、维修》并列作为制冷高级工培训的专业教材,也可供从事制冷和空调设备安装、操作、维修技工和物业管理人员的自学或工作参考。

本书内容理论联系实际,在阐述制冷与空调设备工作原理和结构特点的同时,注重空调系统操作和维修技能的提高。要求学员在学完本课程之后,掌握空调工程的基础理论知识和相关设备的管理操作技能,并能对空调系统进行安装、调试和测定验收,在日常运行管理中能带班生产、组织大修、更新系统中损坏的设备等。本书内容安排了较多、较全面的空气特性、空调基本理论知识,在此基础上再深入介绍房间空调器、单元式空调机、中央空调系统、空调制冷机组、空调自动控制、空调系统的噪声与消声、空调系统的测试与调整、车船空调等内容。目录中打*号的内容可不作课堂讲解,供学员自学或需要时查考。全国各地和不同类型班级在使用本教材时,可以对内容作适当的删取。本书与上海交通大学出版社已出版的初、中级制冷设备维修工教材(初级:《制冷空调基础及设备维修》;中级:《制冷与空调——原理、结构、操作、维修》)相衔接,在内容体系上保持一致性和连续性。

本书主要由陈维刚高级工程师编写,并请上海交通大学徐德胜教授主审,并补充和改写了第二、三、四章的有关内容。另外,还约请了下列专家和专业人员:韩厚德、谢绍惠、凌恩飞、刘志华、孙亚民、许伟达、裘鑫明、陈家麟、马旭升、孙兆礼、朱洪涛、钱鹤庆、周海、龚萍、于银龙、胡欣、方康良、陈明、张岱泉、黄祥元、高增权、徐宏伟等编写、翻译、审校部分章节的内容,并广泛征求了培训部门和专家的意见,才使本书最后定稿。在此书出版之际,对同行专家的帮助和领导部门的支持表示诚挚的感谢!

限于编者的水平,书中不免有缺点和错误,恳请广大读者批评指正,并在修订时采纳大家的意见,以使本书更好地符合高级工应知培训的要求。

主 编

2001年2月于上海

目 录

第一章 空气和空调的基础知识	(1)
§ 1.1 湿空气的热力学性质及参数	(1)
§ 1.2 湿空气的 $i-d$ 图及其应用	(6)
§ 1.3 空调常用的概念和单位	(12)
§ 1.4 室内外空气计算参数的确定	(17)
§ 1.5 空调室内热湿负荷的确定	(21)
§ 1.6 空调室外热湿负荷的确定	(23)
§ 1.7 空调区送风量的确定	(30)
第二章 房间空调器原理和结构	(32)
§ 2.1 房间空调器的质量要求	(32)
§ 2.2 房间空调器的型式试验	(35)
§ 2.3 房间空调器的原理和构造	(47)
§ 2.4 整体式空调器	(64)
§ 2.5 分体式空调器	(76)
§ 2.6 房间空调器计算实例*	(100)
§ 2.7 房间空调器电气控制*	(109)
第三章 单元式空调机原理和结构	(143)
§ 3.1 单元式空调机的质量要求	(143)
§ 3.2 单元式空调机的型式试验	(147)
§ 3.3 单元式空调机原理和结构	(155)
§ 3.4 专用单元式空调机*	(191)
第四章 中央空调系统及设备	(203)
§ 4.1 单风管集中式空调的空气处理	(203)
§ 4.2 双风管集中式空调的空气处理	(221)
§ 4.3 集中式空调的变风量处理	(225)
§ 4.4 集中式空调的末端诱导处理	(234)
§ 4.5 集中式空调的风机——盘管系统	(237)
§ 4.6 集中式空调的喷水处理系统	(250)
§ 4.7 表面式换热器	(265)
§ 4.8 风道与通风机	(272)

§ 4.9	气流组织与通风部件	(286)
§ 4.10	空气除尘与系统防火	(293)
§ 4.11	水管与水泵	(303)
§ 4.12	空调的节能途径*	(323)
第五章	中央空调制冷机组	(331)
§ 5.1	活塞压缩式冷水机组	(331)
§ 5.2	螺杆压缩式冷水机组	(356)
§ 5.3	离心压缩式冷水机组	(370)
§ 5.4	吸收式冷水机组	(394)
第六章	空调系统的自动控制	(423)
§ 6.1	自动控制原理	(423)
§ 6.2	温度型自动控制	(426)
§ 6.3	湿度型自动控制	(433)
§ 6.4	风量风速自动控制	(436)
§ 6.5	空调综合控制系统	(439)
§ 6.6	空调的计算机控制*	(444)
第七章	空调系统的噪声与消声	(457)
§ 7.1	噪声的产生与标准	(457)
§ 7.2	噪声的原理与消声	(461)
§ 7.3	噪声测量及仪器	(471)
第八章	空调系统的测试与调整*	(475)
§ 8.1	风量的测定与调整	(475)
§ 8.2	空气处理过程的测定	(483)
§ 8.3	空调区内参数的测定	(485)
§ 8.4	试调的途径和方法	(490)
第九章	车船空调的结构与特点*	(493)
§ 9.1	汽车空调的组成和特征	(493)
§ 9.2	汽车空调的压缩机	(495)
§ 9.3	汽车空调换热器与节流装置	(501)
§ 9.4	汽车空调的电器装置	(507)
§ 9.5	汽车空调的暖气和通风	(510)
§ 9.6	汽车空调的维修	(518)
§ 9.7	火车空调概述	(520)
§ 9.8	船舶空调简介	(524)

附表 单位换算及物性表	(527)
附表 1 常用计量单位及换算	(527)
附表 2 氨饱和液的物性值	(530)
附表 3 R12 饱和液的物性值	(530)
附表 4 R22 饱和液的物性值	(531)
附表 5 某些气体的物性值	(531)
 附录一 新制冷剂替代 CFC 的介绍	(532)
附录二 制冷设备维修工高级工培训计划	(540)
 参考文献	(544)
(* 有此记号的章节培训班不安排讲课,供自学参考)	

第一章 空气和空调的基础知识

空气调节简称空调,就是“人造气候”的工程。根据舒适或工艺的需要,对自然界的空气在局部范围内进行温度、湿度、洁净度及风的速度调节,简称为“四度调节”。

空调的对象是湿空气,空调的手段是通过一定的设施消耗一定的能源完成各种对空气的处理过程。空调工程耗资大、能耗大,并且综合技术要求强,为了安全生产、节省资金,节约能源和环境的保护,空调工作人员首先应了解湿空气的各种性质。

§ 1.1 湿空气的热力学性质及参数

1.1.1 湿空气的组成

自然界的空气都是由干空气和水蒸气混合而成,因此称之为“湿空气”,下文中均把“湿空气”简称为“空气”。绝对干燥而无水蒸气的干空气在自然界里是不存在的。

干空气的主要成分的重量比如下:

N_2 (氮气)	75.55%
O_2 (氧气)	23.10%
CO_2 (二氧化碳)	0.05%
惰性气体	1.30%

在自然界中,上述干空气的组分基本是不变的。因此,以干空气的单位质量做物理参数的基本单元最合适。此外,大气中还夹杂着少量的灰尘、烟雾和细菌等。

空气中的水蒸气含量不但很少,而且没有固定的质量比例,水气的多少与空气所处的状态有关。就是这少量的水气对空气的性质影响却很大,对人们的生存、生物的需要及生产科学实验都有重大的关系。

空气的状态是看不见也摸不到的,而是通过一些物理量如温度、湿度及压力等来描述,这些物理量称为空气的状态参数。

1.1.2 空气的压力

包围地球表面的大气层对地球表面的压力就是空气的压力,称为大气压。大气压随地球外表面的纬度不同、时间不同及地势高低不同,其数值也不尽相同。通常以纬度 45° 的海平面上平均大气压定义为物理大气压,也称为标准大气压。大气压用 P 表示,物理大气压用 P_B 表示,单位均为“Pa”(帕),一个标准大气压为 101325Pa 或 101.325kPa 。

空气是由各种气体组成的干空气与水蒸气混合而成的,就是说空气是多种气体的混合物,在空调工程中,把空气视为由干空气与水蒸气的混合物。根据道尔顿定律可知,理想混合气体的总压力等于其中各种气体的分压力之和,每种气体都有各自分压力存在;该混合气体的各种气体都具有与混合气体相同的体积及相同的温度。从空调角度来看空气的大气压力,它是由于

空气分压力 P_g 和水蒸气分压力 P_c 组成的,即:

$$P = P_g + P_c \quad (\text{Pa}).$$

显然,空气中的水气越多,其分压力 P_c 越大。空气中水蒸气在其分压力作用下,保持它固有的物理性质。

1.1.3 空气的温度

空气的温度是表示空气冷热程度的度量标尺,在空调工程中,一般以 t 表示空气的摄氏温度,单位为“℃”(摄氏度);而以 T 表示空气的热力学温度,也称绝对温度,其单位为“K”(开尔文)。两者关系为:

$$T = t + 273 \quad (\text{K}).$$

1.1.4 空气的密度与比容

单位体积的空气所具有的质量称为空气的密度,用 ρ 表示,单位为 kg/m^3 。即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg}/\text{m}^3).$$

式中 m ——空气的质量 (kg);

V ——空气的体积 (m^3)。

单位质量的空气所具有的体积称为空气的比容,用 ν 表示,单位为 m^3/kg 。即

$$\nu = \frac{V}{m} \quad (\text{m}^3/\text{kg}).$$

式中符号意义与前式一样,本书在前面交待过的符号意义,在后面出现时,不再加以标注说明。

同一空气在相同状态下其比容 ν 与密度 ρ 互为倒数:

$$\rho = \frac{1}{\nu} \quad \text{或} \quad \nu = \frac{1}{\rho}.$$

湿空气的密度可由下式确定:

$$\rho = \frac{0.00348P_B}{T} - \frac{0.00134P_c}{T} \quad (\text{kg}/\text{m}^3).$$

在空调工程中,为了简化计算,往往以干空气的密度 ρ_g 来替代湿空气的密度,所产生的误差一般均在允许范围之内,但是在高原地区应按实际大气压进行计算。干空气的密度为:

$$\rho \approx \rho_g = \frac{0.00348P_B}{T} \quad (\text{kg}/\text{m}^3).$$

1.1.5 空气的湿度

空气的湿度是指空气中含有水蒸气量的多少。它有下列几种表示方法:

1. 绝对湿度

每立方米体积的空气中含有的水蒸气质量多少称为空气的绝对湿度,用 γ 表示,单位为 kg/cm^3 。由理想气态方程可知:

$$\gamma = \frac{P_c}{R_c \cdot T} = \frac{m_c}{V} \quad (\text{kg}/\text{m}^3),$$

式中 m_c ——水蒸气质量 (kg);

R_c ——水蒸气的气体常数,数值为 $461\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。

实际上,空气的绝对湿度在数值上就是该空气中水蒸气的密度 ρ 。

由于空气的体积随温度变化而变化,在具体应用中很不方便,为此又引用一个“含湿量”这个物理参数。

2. 含湿量

每千克干空气所伴有的水蒸气质量(克)称为空气的含湿量,用 d 表示,其单位为 $\text{g}/(\text{kg}$ 干空气),常简写为 $\text{g}/(\text{kg}$ 干)。由理想气体状态方程可知:

干空气气态方程 $P_g V = m_g R_g T$;

水蒸气气态方程 $P_c V = m_c R_c T$ 。

$$d = \frac{m_c}{m_g} = \frac{1000 P_c V / R_c T}{P_g V / R_g} = 622 \frac{P_c}{P_B - P_c} \quad (\text{g}/\text{kg 干}),$$

式中 m_g ——干空气的质量 (kg);

R_g ——干空气的气体常数,数值为 $287\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。

显然 1kg 干空气所伴有 $d\text{g}$ 水蒸气,其总的质量应为 1000g 干空气 + $d\text{g}$ 水蒸气,即 $(1000+d)\text{g}$ 。例如某空气的含湿量 $d=10\text{g}/(\text{kg}$ 干),其实际所表征湿空气的质量为 1010g 。

从上式也可以看出,在一定的大气压 P_B 的前提下,即 P_B 为固定值时,空气的含湿量 d 只与水蒸气分压力 P_c 有关,也就是水蒸气分压力 P_c 只取决于湿空气的含湿量。因此含湿量 d 与水蒸气分压力 P_c 是相互联系参数,而不是两个独立参数。

在自然界里,空气的含湿量有一个极限值,也就是说空气吸收水蒸气不是无限的,而是有一个最大值,当空气中含有的水气量达到最大值时,称为饱和状态。饱和状态时的含湿量称为饱和含湿量,用 d_B 表示。那么饱和状态的水蒸气分压力也称为饱和水蒸气分压力,用 P_{CB} 表示。饱和状态与空气的温度有关,即不同的温度下,其饱和状态的含湿量 d_B 或水蒸气分压力 P_{CB} 也不同。

含湿量 d 在空调工程中是很重要的物理参数。

3. 相对湿度

空气的实际绝对湿度接近饱和状态下的饱和绝对湿度的程度称为相对湿度,用 φ 表示,为无量纲数,常以百分比来表示其大小。

$$\varphi = \frac{\gamma}{\gamma_B} \times 100\%,$$

式中 γ_B ——空气的饱和绝对湿度 (kg/m^3)。

利用理想气态方程,由上式进行理论推导可得:

$$\varphi = \frac{P_c}{P_{CB}} \times 100\%,$$

当 $\varphi=0$ 时,则为干空气; $\varphi=100\%$ 时称为饱和空气,即饱和状态空气。

无论是绝对湿度 γ 还是含湿量 d ,均不能直接反映出空气的干湿程度。例如当空气温度 $t=15^\circ\text{C}$ 空气中的含湿量 $d=10.6\text{g}/(\text{kg}$ 干)时,人们会感到很潮湿,很不舒服。若在 $d=10.6\text{g}/(\text{kg}$ 干)不变的情况下,将该空气加热升温至 25°C ,人们则感到很舒服,即不潮湿也不干燥。这是因为 15°C 时的饱和含湿量 $d_B=10.6\text{g}/(\text{kg}$ 干),而 25°C 时的饱和含湿量 $d_B=20.0$

g/(kg 干)的缘故,相对湿度中根据水气分压力与含湿量的关系,也可看成:

$$\varphi = \frac{P_c}{P_{CB}} \times 100\% \approx \frac{d}{d_B} \times 100\%,$$

那么在 15℃ 时的 φ 为:

$$\varphi_{15^\circ\text{C}} = \frac{d}{d_B} = \frac{10.6}{10.6} \times 100\% = 100\%,$$

而在 25℃ 时的 φ 为:

$$\varphi_{25^\circ\text{C}} = \frac{d}{d_B} = \frac{10.6}{20.0} \approx 50\%。$$

从上例可以看出,含湿量虽然没变,即空气中含有的水气量没变,但 15℃ 时和 25℃ 的干湿程度的感觉就大不一样。而相对湿度恰恰反应出其干湿程度,因此相对湿度 φ 是一个应用很广的物理参数。

1.1.6 空气的比焓

空气的总热量称为空气的焓,用 I 表示,单位为 J。焓不仅包括空气的显热,也包括其中水蒸气的潜热。显热是可以由温度的高低显示出来的热量。潜热是指当物质相态发生变化时,虽然其温度不变,但也有热量的交换,这部分的热量称为潜热。例如 25℃ 的水加热至 100℃ 时的水所吸收的热量就是显热,再把 100℃ 水加热成 100℃ 的水蒸气,这部分的热量称为潜热。

比焓是指单位质量的湿空气所具有的焓值,用 i 表示,单位为 J/kg,即

$$i = \frac{I}{m} \quad (\text{J/kg}),$$

式中 m ——湿空气的质量 (kg)。

在工程应用中,往往以 1kg 干空气为单位,用 1kg 干空气的比焓替代湿空气的比焓,其单位写成 J/(kg 干)。

湿空气的比焓 i 的计算可采用下式:

$$i = 1.01t + (2500 + 1.84t) \frac{d}{1000} \quad [\text{kJ}/(\text{kg 干})]。$$

上式中干空气的焓 $i_g = 1.01t$; 而水蒸气的焓 i_c 为后半部分 $i_c = (2500 + 1.84) \frac{d}{1000}$, 因此湿空气的焓为 $i = i_g + i_c$ 。

式中的 1.01kJ/(kg·℃) 为干空气的比热容; 1.84kJ/(kg·℃) 为水蒸气的比热容; 2500kJ/kg 为水在 0℃ 时的汽化热。

湿空气的焓主要取决于其温度和水蒸气分压力。公式中 $(1.01 + 0.001d \times 1.84)t$ 是随温度变化而变化的热量,即为空气的显热部分; 而 $(0.001d \times 2500)$ 是随水蒸气分压力即含湿量变化而变化的热量,也就是空气的潜热部分。

湿空气是由干空气和水蒸气组成,下面的关系式表达了在常温下三者的物理参数关系:

湿空气 = 干空气 + 水蒸气

温度: $t = t_g = t_c$

体积: $V = V_g = V_c$

压力: $P = P_g + P_c$

质量: $m = m_g + m_c$

$$\text{比焓: } i = i_g + i_c$$

在上述空气物理参数中,其温度 t 、含湿量 d 、相对湿度 φ 和焓 i 是空调中要讨论的四个主要参数。这四个参数既彼此独立而又相互联系,在一定大气压力下如果知道其中任意两个参数,就可以确定某一空气状态,并得到其他参数。

表 1-1 为湿空气的主要物理参数,在空调工程中可直接查找。

表 1-1 湿空气主要物理参数(大气压 $P_B=101.3\text{kPa}$)

空气温度 $t(^{\circ}\text{C})$	干空气密度 $\rho_g(\text{kg}/\text{m}^3)$	饱和空气密度 $\rho_B(\text{kg}/\text{m}^3)$	饱和空气的水蒸气 分压力 $P_{CB}(\text{kPa})$	饱和空气含湿量 $d_B(\text{g}/\text{kg 干空气})$	饱和空气焓 $i_B(\text{kJ}/\text{kg 干空气})$
-10	1.342	1.341	0.259	1.60	-6.07
-9	1.337	1.336	0.283	1.75	-4.73
-8	1.332	1.331	0.309	1.91	-3.31
-7	1.327	1.325	0.336	2.08	-1.88
-6	1.322	1.320	0.367	2.27	-0.42
-5	1.317	1.315	0.400	2.47	1.09
-4	1.312	1.310	0.436	2.69	2.68
-3	1.308	1.306	0.475	2.94	4.31
-2	1.303	1.301	0.516	3.19	5.90
-1	1.298	1.295	0.561	3.47	7.62
0	1.293	1.290	0.609	3.78	9.42
1	1.288	1.285	0.656	4.07	11.14
2	1.284	1.281	0.704	4.37	12.89
3	1.279	1.275	0.757	4.70	14.74
4	1.275	1.271	0.811	5.03	16.58
5	1.270	1.266	0.870	5.40	18.51
6	1.265	1.261	0.932	5.79	20.51
7	1.261	1.256	0.999	6.21	22.61
8	1.256	1.251	1.070	6.65	24.70
9	1.252	1.247	1.146	7.13	26.92
10	1.248	1.242	1.225	7.63	29.18
11	1.243	1.237	1.309	8.15	31.52
12	1.239	1.232	1.399	8.75	34.08
13	1.235	1.228	1.494	9.35	36.59
14	1.230	1.223	1.595	9.97	39.19
15	1.226	1.218	1.701	10.6	41.78
16	1.222	1.214	1.813	11.4	44.80
17	1.217	1.208	1.932	12.1	47.73
18	1.213	1.204	2.059	12.9	50.66
19	1.209	1.200	2.192	13.8	54.01
20	1.205	1.195	2.331	14.7	57.78
21	1.201	1.190	2.480	15.6	61.13
22	1.197	1.185	2.637	16.6	64.06
23	1.193	1.181	2.802	17.7	67.83
24	1.189	1.176	2.977	18.8	72.01
25	1.185	1.171	3.160	20.0	75.78
26	1.181	1.166	3.353	21.4	80.39
27	1.177	1.161	3.556	22.6	84.57
28	1.173	1.156	3.771	24.0	89.18
29	1.169	1.151	3.995	25.6	94.20
30	1.165	1.146	4.232	27.2	99.65
31	1.161	1.141	4.482	28.8	104.67
32	1.157	1.136	4.743	30.6	110.11
33	1.154	1.131	5.018	32.5	115.97
34	1.150	1.126	5.307	34.4	122.25
35	1.146	1.121	5.610	36.6	128.95
36	1.142	1.116	5.926	38.8	135.65
37	1.139	1.111	6.260	41.1	142.35
38	1.135	1.107	6.609	43.5	149.47
39	1.132	1.102	6.975	46.0	157.42
40	1.128	1.097	7.358	48.8	165.80

§ 1.2 湿空气的*i-d*图及应用

上节介绍的空气基本状态参数的含义及他们之间的关系。其中温度 t 、相对湿度 φ 、含湿量 d 和焓 i 是主要参数,它们直接反映了空气的热力状态。在一定的大气压力下,已知其中任意两个参数,即可计算出其余参数,但是这些计算是相当繁杂的。

在空调工程中,为了简化计算,利用前面介绍的一些公式制成图表,即焓湿图(*i-d*图)。应用此图能比较全面而简明地反映出空气的状态参数及其变化过程。

1.2.1 *i-d*图的结构

*i-d*图主要由 i 、 d 、 t 、 φ 四组定值线组成。我国现在使用的是以焓和含湿量为坐标轴的焓湿图。纵坐标为焓 i ,横坐标为含湿量 d ,为使图面开阔、线条清晰,两坐标轴之间夹角为 135° 。图 1-1 就是湿空气 *i-d* 图,*i-d* 原本应一系列等焓线与 d 轴平行,一系列等含湿量线与 i 轴平行,实用中为避免图面过长,常用一水平线代替实际的 d 轴,且标在图面的顶部。

等温线是根据公式 $i = 1.01t + (2500 + 1.84t) \cdot \frac{d}{1000}$ 制作而成的。因为当 $t = \text{定值}$ 时,上式中 i 与 d 是直线方程关系。因此,只需求出任意两点即可绘出等温线。若温度定值分别为 -10 、 0 、 5 、 10°C ……时,则得到一系列对应的等温线。

应当指出,不同温度值的等温线彼此是不平行的直线,因为直线的斜率为 $(2500 + 1.84t)$,由于 t 值不同,斜率是不相同的。但是由于在空调范围 $(-10 \sim 40^\circ\text{C})$ 内, $1.84t$ 远远小于 2500 ,温度对斜率影响不明显,所以等温线又近似平行。

相对湿度线是根据公式 $d = \frac{622P_c}{P_B - P_c}$ 绘制而成的。在一定的大气压力 P_B 下,当相对湿度 φ 为定值时,含湿量 d 是饱和水蒸气分压力 P_{CB} 的单值函数,而饱和水蒸气分压力 P_{CB} 又是温度 t 的单值函数,其值可由水蒸气性质表或表 1-1 查出。因此,根据 t 、 d 的对应关系就可以在 *i-d* 图上找到若干点,连结各点即成等 φ 线。由此可以作出 0% 、 10% 、…… 100% 等数值的相对湿度线。显然, $\varphi = 0\%$ 的相对湿度线就是纵坐标, $\varphi = 100\%$ 的相对湿度线就是饱和湿度线。而且,等 φ 线是一组向上延伸的拱形曲线。

由公式 $d = \frac{622P_c}{P_B - P_c}$ 可变换为 $P_c = \frac{P_B \cdot d}{622 + d}$ 。换句话说,在一定的大气压力 P_B 条件下,空气的水蒸气分压力 P_c 是空气含湿量的单值函数。因此在代用 d 轴的上方设一水平水蒸气分压力线同 d 值线对应。

在 *i-d* 图上,一系列由左向右升高,相互近似平行的直线为等温线,即 $t = \text{常数}$,而且等温线中温度等于零的线,通过坐标原点 O ;另有一簇自左向右上方分散的曲线则为等相对湿度线,即 $\varphi = \text{常数}$ 。因 $\varphi = 0\%$ 时 $d = 0$,故 $d = 0$ 的等含湿量线(纵坐标),则为 $\varphi = 0\%$ 的等相对湿度线。而把各等温线的最终点,即空气相对湿度都是 $\varphi = 100\%$ 的各点连接起来,则得到一条 $\varphi = 100\%$ 的曲线,称为饱和湿度线。该线把 *i-d* 图分成两个部分。饱和湿度线以上代表的空气都处于未饱和状态,即未饱和空气;而位于饱和湿度线以下所代表的空气都是处于过饱和状态。过饱和状态的空气是不稳定的,它往往出现凝露现象,形成水雾。在 *i-d* 图上,这一部分区域又称为“水雾区”。

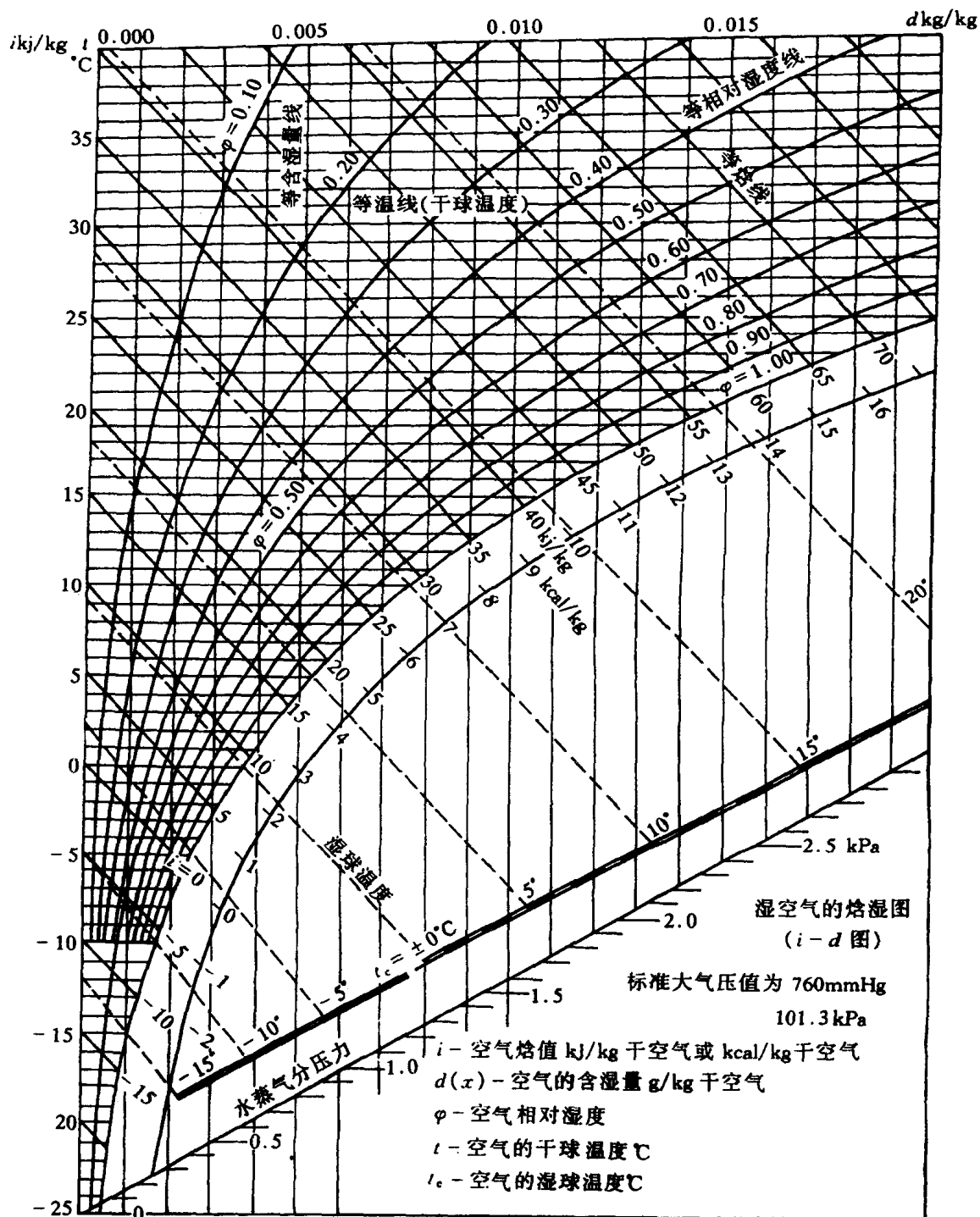


图 1-1 湿空气 $i-d$ 图的基本构成

此外,在 $i-d$ 图上方还给出了湿空气中水蒸气分压力 P_v 值。为了适应空气调节及通风的某些要求,在 $i-d$ 图边缘有的还绘制了一系列用来表示在湿空气状态变化过程中,表示焓值变化 Δi 与含湿量变化 Δd 的比值 ($\Delta i / \Delta d$) 的等值线,称为热湿比线。热湿比 $\frac{\Delta i}{\Delta d}$ 用符号 ϵ 表示,单

位为 kJ/kg 。

i - d 图是在某一大气压力下绘制的,大气压不同则 i - d 图也不同。在空调工程中多采用图 1-1 所示的在标准大气压 ($P_B=101325\text{Pa}$) 下绘制的 i - d 图,其误差在空调工程中还是允许的。

1.2.2 i - d 图的应用

1. 确定空气的状态参数

在给定大气压力下,根据已知的湿空气两个独立参数 (t 、 φ 、 d 或 P_c 、 i 中任意二个),便可以在 i - d 图上确定该空气状态点,并通过该点的物理参数线查找出其他状态参数。

例如已知在 $P_B=101.3\text{kPa}$ 下, $t=25^\circ\text{C}$, $\varphi=60\%$,首先在 i - d 图上根据 $t=25^\circ\text{C}$ 的等温线与 $\varphi=60\%$ 的等相对湿度曲线产生一个交点 A,这 A 点便是该空气的状态点,如图 1-2 所示。

再找过 A 点的等焓线 i_A 及过 A 点的等含湿量线 d_A ,分别查出 $i_A=54.5\text{kJ/kg 干}$, $d_A=12\text{g/kg 干}$;其等含湿量线与水蒸气分压力线交于一点 B,便可查出其水蒸气分压力 $P_c=1.8\text{kPa}$ 。

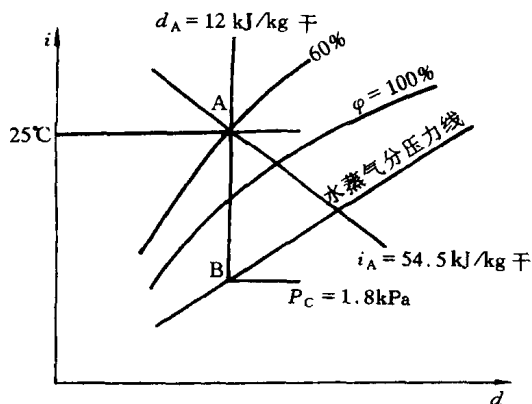


图 1-2 确定空气状态参数

2. 确定空气的湿球温度

通常温度计只能测出空气的温度,即干球温度,但确定空气状态需要两个独立参数,因此又增加一个湿球温度的测量。通过干、湿球温度可以计算出其相对湿度和其他参数值。测量工具最普遍的还是干湿球温度计,干湿球温度计如图 1-3 所示。

从水的蒸发原理可知,湿球温度计温包上湿纱布表面存在一层饱和空气层,其温度即纱布含水的温度 t_c ,如果水温 t_c 大于空气温度,而且空气的 $\varphi < 100\%$ 时,纱布中的水分就会向空气中蒸发汽化,蒸发时吸取水本身的热量作为蒸发时汽化潜热,而使水温下降。当纱布水温度降得比空气温度低时,空气便传热给水,直到空气传给水的显热量正好等于纱布水蒸发的汽化潜热时,纱布的水温便稳定下来,这个温度值称为空气的湿球温度 t_c 。

由此可见,周围空气越干燥,即 φ 越小,则纱布水蒸发量越大,所需的汽化潜热也越大,湿球温度就越低。如果周围空气的 $\varphi=100\%$ 时,纱布上的水不再蒸发,则干球温度与湿球温度

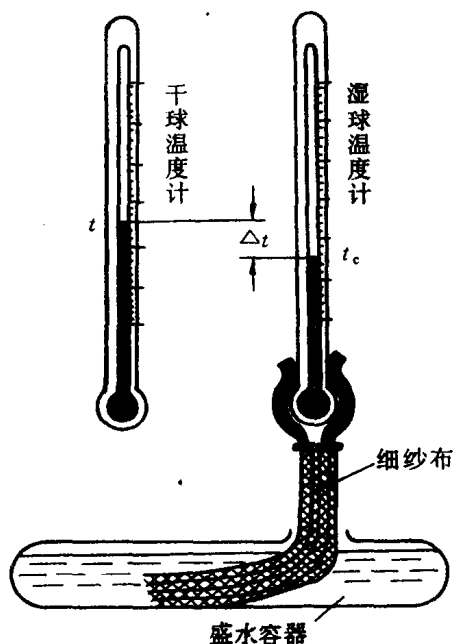


图 1-3 干湿球温度计

相同。

值得注意的是,风速大小对所测湿球温度的精度有很大的影响。实践证明当流经湿球表面风速为 2.5~4m/s 以上时,所测的湿球温度几乎不变,这就是空调中定义的真实湿球温度。

空气在与纱布的水进行热湿交换时,严格地讲空气仍然获得了热量,这是因为水蒸发时带入空气的热量略大于空气传入湿纱布的热量,这个差值为 $C_w \cdot t_c \cdot m_w$ 。湿球表面的一层饱和空气层可以看作是 m kg 空气进行上述热湿交换的结果,其状态变化过程的热湿比 ϵ 为:

$$\epsilon = \frac{\Delta i}{\Delta d} = \frac{C_w \cdot t_c \cdot m_w / m}{m_w / m} = 4.19 t_c \quad (\text{kJ/kg}),$$

式中 C_w ——水的定压比热容 $[4.19 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})]$;

m_w ——散发到空气中的水蒸气量 (kg/h) ;

m ——状态变化的空气量 (kg/h) 。

从而可知,状态变化过程的热湿比 ϵ 在数值上等于 $4.19 t_c$,即沿着 $\epsilon = 4.19 t_c$ 方向进行。当 $t_c \leq 30^\circ\text{C}$, $\epsilon \leq 126 \text{ kJ/kg}$ 时,此方向变化线与等焓线十分接近,在工程上可以近似看作是沿着等焓线方向变化的。因此当知道空气的状态点后便可沿着过该点的等焓线找到与 $\varphi=100\%$ 的交点,交点所对应的温度就是该状态空气的湿球温度 t_c ,即所谓的“等焓查湿”。

例如如图 1-4 所示,已知空气 $t=25^\circ\text{C}$ 、 $\varphi=60\%$,其状态点为 A。过 A 点的等焓线 i_A 与 $\varphi=100\%$ 产生交点 B,那么 B 点的温度查出来为 19.4°C ,这 19.4°C 便是空气在 $t=25^\circ\text{C}$ 及 $\varphi=60\%$ 的湿球温度。

但在实际应用中,往往是先知道 $t=25^\circ\text{C}$ 及 $t_c=19.4^\circ\text{C}$,再按上述反过程确定状态点 A,从而进一步查出 A 点空气的其他参数值。

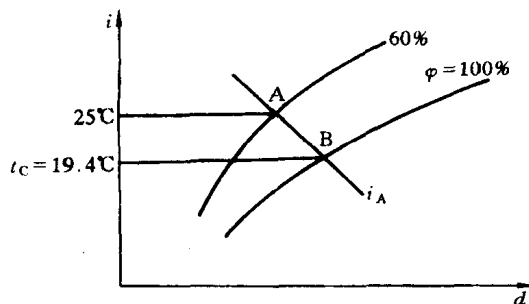


图 1-4 等焓查湿

3. 确定空气的露点温度

在一定的大气压力下,保持水蒸气分压力不变(即含湿量不变),把未饱和的湿空气降温冷却,当其温度下降到该空气成为饱和状态时,若再降温,空气中的一部分水蒸气会凝结成液体的露珠而从空气中分离出来,这种现象就是常说的“结露”。能使空气开始结露的临界温度称为该空气的露点温度,以 t_L 表示。

空气的露点温度在 $i-d$ 图上就可以很方便地查找出来,例如图 1-5 所示,已知 25°C 、 $\varphi=60\%$ 的空气状态为 A 点,则查过 A 点的等含湿量线与 $\varphi=100\%$ 的交点 L, L 点的温度 t_L 便是该空气的露点温度, $t_L=16.7^\circ\text{C}$ 。这就是所谓的“等 d 查露”。

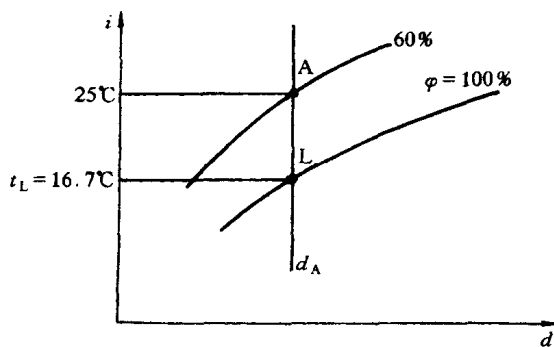


图 1-5 等 d 查露

4. 确定两种不同状态空气的混合点

在空调工程中,有时为了节能,通常利用空调房间的一部分空气作回风,与室外新风或处理后的空气混合。两种不同状态空气混合以后的状态参数可以用计算方法确定,也可以很方便地运用 i - d 图来确定。

如果一种空气的质量为 m_1 ,状态参数为 i_1, d_1 ,另一种空气质量为 m_2 ,状态参数为 i_2, d_2 。则根据质量和能量守恒原理:混合后空气的总质量 m 应等于混合前两种空气的质量之和;混合后空气的总热量应等于混合前两种空气的热量之和;混合后空气的总湿量应等于混合前两种空气的总湿量之和。设混合后空气的状态为 i_m, d_m ,则:

$$m = m_1 + m_2,$$

$$m \cdot i_m = (m_1 + m_2)i_m = m_1 \cdot i_1 + m_2 \cdot i_2,$$

$$m \cdot d_m = (m_1 + m_2) \cdot d_m = m_1 \cdot d_1 + m_2 \cdot d_2。$$

将上述各式整理后可得下面关系式,并见图 1-6。

$$\frac{i_1 - i_m}{i_m - i_2} = \frac{d_1 - d_m}{d_m - d_2} = \frac{m_2}{m_1} = \frac{\overline{M2}}{\overline{M1}}。$$

$$\frac{i_1 - i_2}{d_1 - d_2} = \frac{i_1 - i_m}{d_1 - d_m} = \frac{i_m - i_2}{d_m - d_2}。$$

从上面分析可以看出:

(1) 混合状态点 M 与点 1 的连线 $\overline{M1}$ 和 M 点与点 2 的连线 $\overline{M2}$ 具有相同的热湿比值,而且都等于点 1、2 连线所具有的热湿比值。因此,混合点 M 必定在点 1 和点 2 的连线上。

(2) 混合点 M 将 $\overline{12}$ 线段分为两段,两段的长度 $\overline{M1}$ 与 $\overline{M2}$ 仅仅同参与混合的两种空气的质量 m_1, m_2 成反比。

(3) 混合点 M 靠近风量大的一端。

5. 求作热湿比(角度)线

空调房间吸热、放热、去湿或加湿的空气状态变化线,在 i - d 图上是一条带有角度的直线过程线,因此热湿比线代表了空气变化的方向。

设空调房间空气初始状态为 A,经空调器的降温去除了房间的余热 Q kJ/h 和余湿 W kg/h,使室内空气状态产生变化,变化的方向正是其热湿比,如图 1-7 所示。

$$\epsilon = \frac{Q}{W} = \frac{\Delta i}{\frac{\Delta d}{1000}} \quad (\text{kJ/kg})。$$

在湿空气的 i - d 图上,把过比焓为 O 点

(座标的温度为 0°C 点)各主要热湿比线预先画好。应用时,只要把比焓为 O 点与框外热湿比

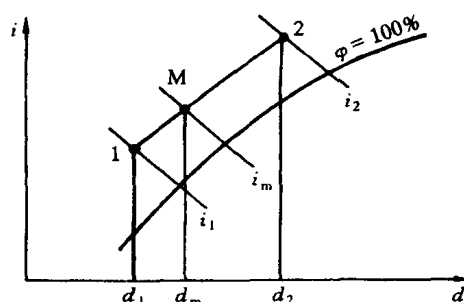


图 1-6 两种空气混合

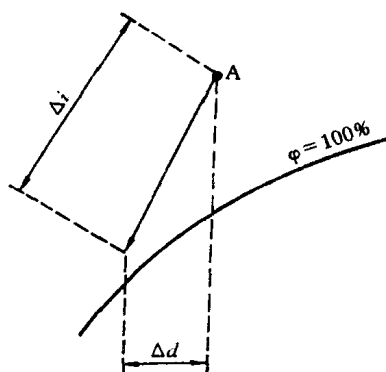


图 1-7 热湿比线