



全国高职高专教育“十一五”规划教材

制冷与空调技术专业领域

空气调节技术

■ 朱立 主编 王子彪 卢勇 副主编

air condition

refrigeration

全国高职高专教育“十一五”规划教材

制冷与空调技术专业领域

空气调节技术

朱立 主编
王子彪 卢勇 副主编

高等教育出版社

内容提要

本书全面介绍了湿空气的物理性质以及焓湿图的使用方法,空调负荷的计算,各种空气调节系统及全年运行调节的方法,空气处理过程及其处理设备,空调的气流组织、风道设计、水系统与蓄冷系统,空调系统的消声和隔振、建筑的排风与防火排烟、系统的测定与调整等。每章都配有思考题与习题。

本书可作为高等职业技术院校、高等专科学校、成人高校、民办高校及本科院校举办的二级职业技术学院相关专业的教学用书,也适用于五年制高职、中职相关专业,并可作为社会从业人员的业务参考书及培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

空气调节技术/朱立主编. —北京:高等教育出版社,
2008.12

ISBN 978 - 7 - 04 - 024735 - 0

I. 空… II. 朱… III. 空气调节 - 高等学校:技术
学校 - 教材 IV. TU831

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 176673 号

策划编辑 王 博 责任编辑 王 博 封面设计 于 涛 责任绘图 朱 静
版式设计 张 岚 责任校对 王效珍 责任印制 陈伟光

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
总 机 010 - 58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 涿州市京南印刷厂

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 23.5
字 数 570 000
插 页 1

购书热线 010 - 58581118
免费咨询 800 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landrac.com>
<http://www.landrac.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2008 年12月第 1 版
印 次 2008 年12月第 1 次印刷
定 价 29.90 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 24735 - 00

全国高职高专教育 制冷与空调技术 规划教材编写委员会

主任：匡奕珍 陈 礼

委员(按姓氏拼音排序)：

杜存臣	杜玉文	何 晖	李好学	刘 乐	刘佳霓	卢 勇
逯红杰	罗 伦	钱华梅	邱庆龄	任 峰	邵长波	孙见君
滕文锐	王 宏	王 琪	王凌杰	王子彪	魏 龙	徐思维
杨俊通	殷 浩	尹选模	余华明	张 敏	张国东	周艳蕊
朱 立	邹新生					

前 言

随着制冷与空调行业的迅速发展,越来越多的高职高专院校新增设了制冷与空调专业,而目前适合于高职高专制冷与空调专业学生使用的教材太少。为了适应我国高等职业技术教育发展的需要,高等教育出版社组织十多所高职院校制冷与空调专业的教师编写了一套适合于高职高专制冷与空调及相关专业学生选用的系列教材。

本书是这套系列教材中的一本。根据教育部对高职高专人才培养的最新精神,高等职业教育“以服务为宗旨、以就业为导向、走产学结合的发展道路”,明确了高等职业教育的主要任务是培养高素质的技能型人才。因此本书在编写时本着“必需、够用”为度,以适应高职高专教学改革的发展之需和满足制冷与空调以及相关专业课程教学的需要为原则,并结合我国制冷与空调行业迅速发展的现状及相关职业技术岗位的要求,选取了相关内容进行编写。

本书在章节的编排和内容的取舍上与以往同类教材有较大区别,如将空气调节系统等内容放在了第三章,这样的编排使前后所学内容的联系更密切,有利于此章内容的学习与理解。此外,把空气净化处理的内容作为一节放在第五章空气处理过程及其处理设备中介绍,这既精简了章节,又使内容安排更为合理。另外,本书还增设了空调水系统与蓄冷空调系统等方面的知识,使学生通过气流组织、风道系统、水系统等内容的学习对空气调节系统有一个更全面的了解与掌握。

建议本书教学总学时数为70~80学时,考虑到各学校教学计划和课程设置的区别以及侧重点的不同,该教材编写时选取的信息量较大,知识点较多,任课教师可根据具体情况对书中内容及相关章节酌情取舍。

为了引导学生自学、启发思维、检验学习效果,本书每一章后面都配有思考题与习题,以利于学生课后复习和对重点、难点的理解与掌握。

本书由武汉商业服务学院朱立任主编,沈阳建筑大学王子彪、苏州经贸职业技术学院卢勇任副主编,参加编写工作的有朱立(绪论、第一章、第三章、第八章)、王子彪(第二章、第六章)、卢勇(第四章、第七章)、苏州经贸职业技术学院钱华梅(第五章)、西安航空技术高等专科学校逯红杰(第十一章)、武汉商业服务学院邱庆龄(第九章、第十章)。全书由朱立统稿。

本书由山东商业职业技术学院匡奕珍教授主审,提出了许多宝贵的修改意见,特予致谢。

由于编写人员水平有限,不足之处在所难免,恳望读者指正。

编 者
2008年10月

目 录

绪论	1	第一节 室外空气状态变化时的运行调节	104
思考题与习题	5	第二节 室内热湿负荷变化时的运行调节	109
第一章 湿空气的物理性质和焓湿图的应用	6	第三节 半集中式空调系统的运行调节	117
第一节 湿空气的组成和物理性质	6	第四节 变风量空调系统的运行调节	121
第二节 湿空气的焓湿图	13	第五节 空调系统的节能运行	124
第三节 干、湿球温度和露点温度	17	思考题与习题	127
第四节 焓湿图的应用	20	第五章 空气处理过程及其处理设备	128
思考题与习题	25	第一节 概述	128
第二章 空调负荷计算与送风量的确定	27	第二节 空气与水直接接触时的热湿交换	129
第一节 空调室内外空气计算参数	27	第三节 用喷水室处理空气	131
第二节 太阳辐射热对建筑物的热作用	34	第四节 用表面式换热器处理空气	149
第三节 空调房间冷(热)、湿负荷的计算	37	第五节 空气的其他热湿处理方法	167
第四节 空气调节负荷估算指标	47	第六节 空气净化及处理设备	177
第五节 空调房间送风状态及送风量的确定	48	思考题与习题	189
思考题与习题	55	第六章 空调房间的气流组织	191
第三章 空气调节系统	57	第一节 送、回风口气流的流动规律	191
第一节 空气调节系统的分类	57	第二节 送、回风口的形式	198
第二节 普通集中式空调系统	59	第三节 气流组织的基本形式	208
第三节 半集中式空调系统	75	第四节 气流组织的计算与评价	212
第四节 分散式空调系统——局部空调机组	91	思考题与习题	219
第五节 户式中央空调系统	95	第七章 空调系统的风道设计	220
第六节 其他空气调节系统	97	第一节 风道内的空气流动阻力	220
思考题与习题	103	第二节 风道内的压力分布	229
第四章 空调系统的全年运行调节与节能	104		

第三节	风道的设计计算	232	附录 2-3	北纬 40° 透过标准玻璃窗的太阳辐射强度	327
第四节	空调系统风道设计中的有关问题	243	附录 2-4	夏季空气调节大气透明度分布图	330
	思考题与习题	244	附录 2-5	大气透明度等级	331
第八章	空调水系统与蓄冷空调系统	246	附录 2-6	围护结构外表面的太阳辐射热吸收比 ρ	332
第一节	空调冷(热)水系统的组成及分类	246	附录 2-7	围护结构瞬变传热引起的冷负荷计算的有关数据	333
第二节	空调冷冻水(热水)系统的水力计算	253	附录 2-8	透过玻璃窗日射得热形成的冷负荷计算的有关数据	342
第三节	空调冷却水系统	257	附录 2-9	设备、用具、人体、照明的散热冷负荷系数	345
第四节	蓄冷空调系统	259	附录 5-1	喷水室热交换效率实验公式的系数和指数	347
	思考题与习题	271	附录 5-2	部分水冷式表面冷却器的传热系数和阻力实验公式	348
第九章	空调系统的消声和隔振	273	附录 5-3	部分空气加热器的传热系数和阻力计算公式	349
第一节	噪声及其物理量度	273	附录 5-4	水冷式表面冷却器的 ε_2 值	350
第二节	空调系统中噪声的控制	280	附录 5-5	JW 型表面冷却器的技术数据	351
第三节	空调装置的减振	288	附录 5-6	SRZ 型空气加热器的技术数据	352
	思考题与习题	292	附录 6-1	盘式散流器性能表	353
第十章	空调建筑的排风与防火排烟	294	附录 6-2	圆形直片式散流器性能表	354
第一节	空调建筑的排风	294	附录 7-1	局部阻力系数	355
第二节	空调建筑的防火排烟	296	附录 7-2	通风管道统一规格	361
第三节	防排烟系统与通风空调系统的兼用	299	附录 7-3	空调系统中的空气推荐流速	364
	思考题与习题	301	附录 7-4	空调系统中的空气最大流速	365
第十一章	空调系统的测定与调整	302	参考文献		366
第一节	概述	302			
第二节	空调系统的测定与调整	308			
第三节	系统调试中的故障分析及排除	318			
	思考题与习题	320			
附录		321			
附录 1-1	湿空气的密度、水蒸气压、含湿量和焓	321			
附录 2-1	我国主要城市的室外空气气象参数	324			
附录 2-2	北纬 40° 的太阳总辐射强度	326			

绪 论

人类生存于自然环境中。为了满足人们生活和生产科研活动对室内气候条件的要求,就需要对空气进行适当的处理,使室内空气的温度、相对湿度、压力、洁净度和气流速度等各项参数能保持在一定的范围内。这种制造人工室内气候环境的技术称为空气调节,简称空调。

根据服务的对象不同,通常把空调分为舒适性空调和工艺性空调两大类。前者是为了保证人体健康和舒适性要求以室内人员为对象,后者是为了满足生产过程的需要以工艺过程为对象,同时尽量兼顾人体的卫生要求。民用建筑和公共建筑的空调多属于舒适性空调。工厂车间、仓库、计算机机房等的空调多属于工艺性空调。

一、空气调节的历史变革

空气调节技术是在 20 世纪初开始形成的,并随着工业发展和科学技术水平的提高而日益完善。19 世纪后半叶,发达国家纺织工业的发展促进了空调技术的发展。当时,一位叫克勒谋(Stuart W. Cramer)的工程师负责设计和安装了美国南部三分之一纺织厂的空调系统。这套系统中已经使用了集中处理空气的喷水室、洁净空气的过滤设备等。空气调节的英文名称 Air Conditioning 就是他在 1906 年确定的。

在美国,开利尔(Willis H. Carrier)对空调事业的进步和发展所做的贡献是超过当代任何人的。1901 年,他创建了第一所暖通空调方面的实验研究室,提出了好几个实践验证理论的计算方程式。1902 年,他通过实验结果,设计和安装了彩色印刷厂的全年性空气调节系统。在 1905 年以前,他把喷嘴和挡水板安装在喷水室内,改善了温湿度控制的效果,使全年性空调系统能够满意地应用于 200 种以上不同类型的工厂。在 1911 年 12 月,他得出了空气干球、湿球和露点温度之间的关系,以及空气显热、潜热和焓值间的关系的计算公式,并绘制了空气的焓湿图。这是空气调节史上的一个重要里程碑。美国人称他为“空气调节之父”。事实上,他的成功既离不开前人的功绩,也离不开他的合伙者的努力。

在空调系统方面,首先出现的是全空气系统,随后又发展了空气-水系统。由于空气-水系统由水管来代替大部分的大截面风道,既节约了金属材料,又节省了风道所占建筑物的空间,经济效益很高。在空气-水系统方面,先是采用诱导器系统,这是 Carrier 在 1937 年所发明的。它在以后的 20 多年中,曾风行于旅馆、医院、办公楼等公共建筑。20 世纪 60 年代,风机盘管的出现消除了诱导器噪声大和不易调节等主要缺点,使空气-水系统更加具有生命力,直到今天,世界各国仍然大量使用这一系统。全空气系统的进一步发展则是变风量的应用,它可以按负荷变化来改变送风量,起到了节能的作用。因此,近 20 多年来各国变风量全空气系统的使用日渐增多。

除了集中式的空调系统外,20 世纪 20 年代末期出现了整体式的空调机组。它是将制冷机、通风机、空气处理装置等组合在一起的成套空调设备。80 多年来,空调机组发展迅速,现在通用

的已有窗式、分体式和柜式等几类机组,并发展了制冷剂的逆向循环在冬季供热的热泵型机组。

在我国,空气调节的发展并不晚。工艺性空调和舒适性空调几乎同时起步。1931年,上海纺织厂首先安装了带喷水室的空气调节系统,其冷源为深井水。随后,一些电影院和银行也实现了空气调节,几座高层建筑的大旅馆也先后安装了空气式的空调系统。当时,在高层建筑装有空调方面上海是居亚洲之冠的。

新中国成立以后,随着国民经济的发展,空调事业逐步发展壮大,我国第一台风机盘管机组是1966年研制成功的,组合式空调机组在20世纪50年代已经应用于纺织工业。现在我国已能独立设计、制造和装配多种空调系统,如高精度的恒温恒湿洁净室、地下除湿、人工气候室以及大型公共建筑和高层建筑的空调系统。一些专门生产空调设备的工厂,已具有定型化、系列化生产各种空气设备和不同规格空调机组的能力。配用在空调系统上的测量和控制仪表以及控制机构的生产,也有了一定的基础。在全国范围内,从事暖通空调专业的设计、研究和施工管理的队伍,已具有相当的规模。不少大、中专院校已设有供热通风和空气调节专业,以培养专门技术人才。

二、空气调节的任务和作用

空气调节的任务,就是在任何自然环境下将室内空气维持在一定的温度、湿度、气流速度以及一定的洁净度。这也是对所有空气调节系统一般的要求。具体要求的数值和允许波动的范围,则视各种工业建筑和民用建筑的类别和性质而有所不同。因此,空气调节不仅要研究并解决对空气的各种处理方法(如加热、加湿、干燥、冷却、净化等),而且要研究和解决空间内、外干扰量(即空调负荷)的计算,空气的输送和分配,处理空气所需要的冷热源以及在干扰变化情况下的调节问题等。

空气调节对国民经济各部门的发展和对人民物质文化生活水平的提高具有重要意义。在工艺性空调中,为了保证产品的质量和必要的工作条件,形成了各具典型的部门。有以高精度恒温恒湿为特征的精密机械及仪器制造业。在这些工业生产过程中,为避免元器件由于温度变化产生膨胀及湿度过大引起表面锈蚀,对空气的温度和相对湿度有严格规定,如 $(20 \pm 0.1)^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $50\% \pm 5\%$ 。有对空气的洁净度有高度要求的电子工业。它除对空气的温度、湿度有一定要求外,还对室内的洁净度有严格的要求。如超大规模集成电路的某些工艺过程,空气中悬浮粒子的控制粒径已降低到 $0.1\ \mu\text{m}$,并规定每升空气中等于和大于 $0.1\ \mu\text{m}$ 的粒子总数不得超过一定的数量,如不超过3.5粒、0.35粒等。在纺织、印刷等工业部门,对空气的相对湿度要求较高。如在合成纤维工业中,锦纶长丝的多数工艺过程要求相对湿度的控制精度为 $\pm 2\%$ 。此外,如胶片、光学仪器、造纸、橡胶、烟草等工艺也有一定的温、湿度控制要求。工业中常用的计量室、控制室及计算机房,均要求有比较严格的空气调节。药品、食品工业以及生物实验室、医院病房及手术室等,不仅要求一定的空气温、湿度,而且要求控制空气的含尘浓度及细菌数量。通信、航天飞行中的座舱、飞机、轮船等均需采用空气调节。同时,在公共及民用建筑中,装有空调的大会堂、图书馆、商店、宾馆与酒店、展览馆、音乐厅、影剧院、办公楼、民用住宅随处可见。随着国民经济的发展和人民生活水平的提高,空调的应用将更加广泛。

三、空气调节系统的组成

众所周知,一个既定空间内的空气环境,一般会受到两方面的干扰:一是来自空间内部的生

产过程和人所产生的热、湿及其他有害物的干扰；另一方面则是来自空间外部的太阳辐射和气候变化所产生的热作用及外部有害物的干扰。排除干扰的方法主要是向空间内输送并分配一定的按需要处理的空气，与内部环境的空气之间进行热、湿交换，然后将完成调节作用的空气排除，使室内空气保持要求的状态。

一个典型建筑的中央空调系统主要由流体输送与分配系统、空气处理装置、冷热源以及控制和调节装置等四部分组成，如图 0-1 所示。

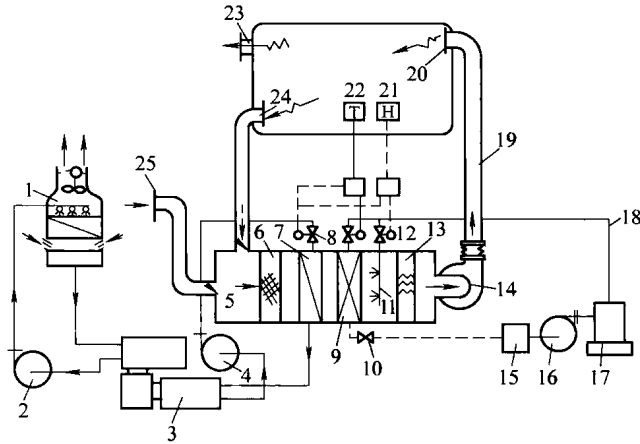


图 0-1 典型建筑中央空调系统简图

- 1—冷却塔；2—冷却水泵；3—制冷机组；4—冷水循环泵；5—空气混合室；6—空气过滤器；
7—空气冷却器；8—冷水调节阀；9—空气加热器；10—疏水器；11—空气加湿器；
12—蒸汽调节阀；13—挡水板；14—风机；15—回水过滤器；16—锅炉给水泵；
17—锅炉；18—蒸汽管；19—送风管；20—送风口；21、22—温、湿度
感应控制元件；23—排风口；24—回风口；25—新风进口

按不同的中央空调系统形式，流体输送与分配系统可分为空调风系统和空调水系统两种类型。空调风系统包括送风系统和排风系统。送风系统的作用是将处理过的空气送到空调房间，风机、风管系统和室内送风口是其基本组成部分。排风系统的作用是将空气从室内排出，可以直接排到室外，也可以部分排至空气处理装置，与室外新鲜空气混合后经处理重新送入室内。这一部分重复使用的排风称为回风。室内排（回）风口、风管系统和风机是排风系统的基本组成部分。在小型空调系统中，有时送排风系统合用一台风机。空调水系统的作用是将冷水或热水从冷源或热源输送至空气处理装置，水泵和水管系统是其基本组成部分。

空气处理装置的作用是将准备送入室内的空气进行加热、冷却、加湿、除湿以及净化等处理到规定的状态。空气处理装置可以集中于一处，为整幢建筑物或建筑物内某一区域服务，也可以分散设置在建筑物的各个层面；可以设在专用空调机房内，也可以直接安装在室内就地处理空气。常用的空气处理装置有空气冷却器、空气加热器、空气加湿器、空气过滤器以及喷水室等。这些装置可以单独使用，也可以组合使用。

冷源是为空气处理装置对空气进行冷却处理提供冷量的，常用的人工冷源是能生产低温水的各种冷水机组，也有用制冷装置的蒸发器来直接冷却空气的。热源是用来为空气处理装置提

供加热空气所需热量的,常用的空调热源有各种锅炉、热泵型冷热水机组、热网等。空调工程采用的天然冷热源主要是江河湖海等地表水和地下水。

空调系统配备的控制和调节装置(包括各种测量元件、调节器和执行机构),能自动或人工手动调节送风的参数、送排风量或供水参数和供水量等,以适应空调系统的负荷变化,保持特定空间内要求的空气状态,同时保证空调系统经济、节能地运行。

四、空气调节的发展方向

与空调广泛应用密切相关的两个全球性环境保护问题分别是地球变暖和大气臭氧层遭破坏。由于使用空调要消耗能量,在一些工业企业(如电子厂),空调能耗约占其全部能耗的40%以上,在高档写字楼和星级酒店也要占到30%以上。而空调消耗的电能或热能,大多又来自发电厂、热电站或独立的锅炉房,其燃烧过程的排放物是造成大气层温室效应的根源。此外,空调用制冷装置中大量采用的CFC和HCFC类氟利昂又是大气臭氧层遭到破坏的根源之一。

还应引起注意的是,在空间内部空气质量方面,由于目前大量合成材料被用于建筑内部装饰装修,同时为了节能而尽量提高建筑物的密闭性,降低新风供给量,造成了空间内部空气质量下降,出现了“令人疲倦和致病”的建筑物(即所谓“病态建筑”)。人们长期生活或工作在这种人工控制的环境内,则会产生闷气、粘膜刺激、头疼及昏睡等症状。

舒适、健康、节能、环保是采用空调技术时需要综合考虑的重要因素,也是衡量采用的空调技术是否先进的重要标准之一。因为创造舒适、健康的空调环境是要以消耗能源为代价的,而自然资源(主要是煤、石油、天然气)又是有限的,而且不可再生。从社会经济的可持续发展、人类的生存环境及空调使用的经济性考虑,必须重视节能和环保问题。为此,空调技术的发展不仅要在能源利用、能量的节约和回收、改进能量转换和传递设备的性能、提高系统能量的综合利用效果、寻求更合理的运行规律、优化系统的技术经济分析以及计算机控制等方面继续加强研究和开发,而且还要在更广泛的范围内研究、创造适合于人工作和生活并有利于健康的空间内部空气环境。

在发达国家,用于空调的电能约占全国总消耗电能的20%~30%。在我国,随着人民生活水平的提高,应用空调设备的场所也越来越多,所占总能耗比例也会越来越高,所以要求空调装置大量节约能源,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,一方面是热量的回收利用,例如应用转换转轮式热交换器、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。太阳能和地热能的利用也应该走出小型、样机化阶段,逐渐达到商品化。在空调系统方面,由定风量系统发展到变风量系统,将逐渐在国内推广。在节省投资方面,应做到投资费用最少,并能节省大量的金属材料。例如空气-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,出于对生产工艺上的特殊要求,要求有较高的空调精度水平。例如, $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ ~ $\pm 0.001^{\circ}\text{C}$ 的恒温, $\pm 1\%$ ~ 0.25% RH的恒湿, $0.1\mu\text{mM1}$ 级洁净环境,这要求空调技术水平有更新的更大提高。但是实现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、运行控制及管理方面广泛应用计算机技术,将是空气调节技术发展的必然趋势。目前,暖通空调工程的计算机应用在专业计算、施工图绘制方面已经推广,并将进一步普及。

? 思考题与习题

1. 空调的任务是什么？
2. 空调的作用有哪些？
3. 空调有何用途？
4. 一个典型的建筑中央空调系统主要由哪几部分组成？
5. 空气调节发展过程中应关注哪些方面的问题？

第一章 湿空气的物理性质和焓湿图的应用

空气调节的任务是创造一个满足不同需要的空气环境。为此,首先必须了解空气的组成成分以及空气的物理性质,同时还应熟悉反映空气物理性质的焓湿图及其应用。除此以外,还应了解湿空气的干、湿球温度和露点温度在焓湿图上的表示和两种不同状态空气混合过程的计算方法。

第一节 湿空气的组成和物理性质

一、湿空气的组成

环绕地球的空气层称为大气层。大气层中含有多种气体、水蒸气和杂质。从大气中除去全部水蒸气和杂质后,所剩即为干空气。由空气和水蒸气混合的气体称为湿空气。

干空气是由氮、氧、氩、二氧化碳、氖、氦和其他的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,只有少数成分随时间、地理位置、海拔高度等因素有少许变化。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组成成分有关。海平面附近清洁的干空气的标准成分如表 1-1 所示。

干空气中除了二氧化碳外,其他气体的含量很稳定,而二氧化碳的含量随动植物生长状态、气象条件、海水表面温度、污染状态等有较大的变化。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。

表 1-1 海平面附近清洁干燥大气标准成分

成分气体(分子式)	体积分数/%	对于成分标准值的变化	相对分子质量(C-12标准)
氮(N ₂)	78.084	—	28.013
氧(O ₂)	20.947 6	—	31.998 8
氩(Ar)	0.934	—	39.934
二氧化碳(CO ₂)	0.0314	—	44.000 95
氖(Ne)	0.001 818	—	21.183
氦(He)	0.000 524	—	4.002 6
氪(Kr)	0.000 114	—	83.80
氙(Xe)	0.000 008 7	—	131.30

续表

成分气体(分子式)	体积分数/%	对于成分标准值的变化	相对分子质量(C-12标准)
氢(H ₂)	0.000 05	?	2.015 94
甲烷(CH ₄)	0.000 15	*	16.043 03
氧化氮(N ₂ O)	0.000 05	—	44.012 8
臭氧(O ₃) 夏	0~0.000 007	*	47.998 2
冬	0~0.000 002	*	47.998 2
二氧化硫(SO ₂)	0~0.000 1	*	64.082 8
二氧化氮(NO ₂)	0~0.000 002	*	46.005 5
氨(NH ₃)	0~微量	*	17.030 61
一氧化碳(CO)	0~微量	*	28.010 55
碘(I ₂)	0~0.000 001	*	253.808 8
氡(Rn)	6×10^{-13}	?	+

注：*表示随时间和场所的不同，该成分对标准值有较大变化；

+表示氡有放射能，由 Rn²²⁰和 Rn²²²两种同位素构成，因为同位素混合物的相对原子质量变化，所以不作规定。(Rn²²⁰的半衰期为 54 s, Rn²²²的半衰期为 3.83 d(天))。

湿空气中水蒸气的含量很少，它来源于地球上的江、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。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。它的变化会引起湿空气干、湿度的变化，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同时会使湿空气的物理性质随之改变，所以本章将重点研究有关这方面的问题。

此外，在接近地球表面的大气中还悬浮有灰尘、烟雾、微生物以及废气、化学排放物等，它们对空气品质的影响及处理方法将在有关章节中介绍。

二、湿空气的状态参数

湿空气的物理性质除和其组成成分有关外，还决定于它所处的状态。湿空气的状态通常可以用压力、温度、比体积等参数来描述，这些参数称为湿空气的状态参数。

在热力学中，将常温常压下(空调属于此范畴)的干空气视为理想气体，存在于湿空气中的水蒸气由于处于过热状态，加之数量微小，分压力很低，比体积很大，也可近视地作为理想气体来对待。所以，由于空气和水蒸气所组成的湿空气也应遵循理想气体的变化规律，其状态参数之间的关系可以用下列理想气体状态方程式表示：

$$pv = R_g T \quad (1-1)$$

对于质量为 m 的理想气体，状态方程式为

$$pV = mR_g T \quad (1-2)$$

式中 p ——气体压力, Pa;

v ——气体的比体积, m^3/kg ;

R_g ——气体常数, 取决于气体的性质, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;

V ——气体的体积, m^3 ;

T ——气体的热力学温度, K ;

m ——气体的总质量, kg 。

当气体的总质量以 mol(摩)为单位时, 1 mol 物质的质量称为摩尔质量, 以 M 表示, 单位为 kg/mol 。1 mol 物质的体积称为摩尔体积, 用 V_m 表示, $V_m = Mv$ 。

对于理想气体, 由式(1-1)可得

$$pV_m = MR_g T$$

令 $R = MR_g$, 则得

$$pV_m = RT \quad (1-3)$$

式中 V_m ——摩尔体积, m^3/mol ;

R ——摩尔气体常数, $\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$

根据阿伏伽德罗定律, 在同温、同压下, 所有气体的摩尔体积 V_m 都相等。所以由式(1-3)可得所有气体的 R 相等, 并且其数值与气体所处的具体状态无关。 R 可由气体在任意一状态下的参数确定, 如在标准状态($p_0 = 101\,325\text{ Pa}$, $T_0 = 273.15\text{ K}$)下, 1 kmol 任何气体占有的容积都等于 22.4 m^3 。因此, 可计算出摩尔气体常数:

$$R = \frac{p_0 V_m}{T_0} = \frac{101\,325 \times 22.4}{273.15} \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \approx 8\,314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$$

有了摩尔气体常数 R , 只要知道气体的摩尔质量, 任何一种气体的气体常数 R_g 就可按下式确定:

$$R_g = \frac{R}{M}$$

如果干空气和水蒸气的气体常数分别用 R_a 及 R_v 表示, 则

$$R_a = \frac{R}{M_a} = \frac{8\,314.66}{28.97} \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K}) = 287 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

$$R_v = \frac{R}{M_v} = \frac{8\,314.66}{18.02} \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K}) = 461 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

式中, 下标 a 表示干空气, 下标 v 表示水蒸气。

下面分述空调工程中几种常用的湿空气的状态参数。

(一) 压力

1. 大气压力

围绕地球表面的空气层在单位面积上形成的压力称为大气压力, 它的单位以 Pa(帕)或 kPa(千帕)表示。

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

通常以北纬 45° 海平面的全年平均气压作为一个标准大气压或物理大气压, 其数值为 $101\,325\text{ Pa}$ 。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的海拔高度为

3.3 m,夏季大气压为 100 480 Pa,冬季为 102 660 Pa;西藏高原上的拉萨市海拔高度为 3 658 m,夏季大气压为 65 230 Pa,冬季大气压为 65 000 Pa。由上可见,大气压不仅与海拔高度有关,还随季节、气候不同而有微小的变化。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量的,但仪表的指示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(旧称表压力)。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

$$\text{绝对压力} = \text{当地大气压} + \text{工作压力} \quad (1-4)$$

下文凡未标明是工作压力时,均应理解为绝对压力。

2. 水蒸气分压力

湿空气中,水蒸气单独占有湿空气的容积,并具有与湿空气相同的温度时所产生的压力,称为水蒸气压力。用 p_v 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。

由前所述,大气既然是由干空气和水蒸气组成的,那么大气压力也必然是水蒸气分压力和干空气分压力之和,即

$$p_b = p_a + p_v \quad (1-5)$$

或
$$B = p_a + p_v \quad (1-6)$$

式中 p_b 、 B ——湿空气的总压力,即大气压力^①;

p_a ——干空气分压力;

p_v ——水蒸气分压力。

从气体分子运动的观点来看,气体分子愈多,即撞击容器的机会愈多,表现出来的压力就愈高。因此,水蒸气分压力的大小反映了水蒸气含量的多少。

(二) 温度

空气的温度表示空气的冷热程度,它是分子动能的宏观结果。温度的高低用“温标”来衡量。

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

$$t = T - 273.15 \text{ K} \approx T - 273 \text{ K} \quad (1-7)$$

式中,273.15 K 是冰点的热力学温度。

温度是空气调节中的一个重要参数。当空气受热后其内部分子动能增大,则表现为温度的升高。

(三) 含湿量

1 kg 干空气所带有的水蒸气质量,称为含湿量 d ,即

$$d = \frac{m_v}{m_a} \text{ kg/kg(干空气)} \quad (1-8)$$

^① 工程热力学中,有时用 B 表示大气压力。

式中 m_v ——湿空气中水蒸气的质量, kg;

m_a ——湿空气中干空气的质量, kg。

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

由于干空气和水蒸气在常温常压下都可当做理想气体, 因此均应遵循理想气体状态方程式:

对于水蒸气
$$p_v V_v = m_v R_v T_v \quad (1-9)$$

对于干空气
$$p_a V_a = m_a R_a T_a \quad (1-10)$$

由于空气中气体分子的自由度很大, 因此湿空气中干空气和水蒸气是均匀混合的, 两者有相同的容积和相等的温度, 即 $V_a = V_v = V, T_a = T_v = T$, 同时又知道水蒸气 and 干空气的气体常数 $R_v = 287 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K}), R_a = 4611 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, 将以上关系代入式(1-8)、(1-9)、(1-10), 经整理得

$$d = \frac{R_a p_v}{R_v p_a} = \frac{287 p_v}{461 p_a} = 0.622 \frac{p_v}{p_a} \quad \text{kg/kg(干空气)} \quad (1-11)$$

或

$$d = 0.622 \frac{p_v}{B - p_v} \quad \text{kg/kg(干空气)} \quad (1-12)$$

考虑到湿空气中水蒸气的含量较少, 因此 d 的单位也可以用 g/kg (干空气)表示, 则式

(1-12)变为 $d = 622 \frac{p_v}{B - p_v}$ 。

式(1-12)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 p_v 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。

在空气调节中, 含湿量也是空气中的一个重要参数, 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含量的变化。

(四) 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称为饱和空气。与之相对应的水蒸气分压力和含湿量, 称为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 1-2 所示。

表 1-2 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 $p_{v,s}/\text{Pa}$	饱和含湿量 $d_s/[\text{g}/\text{kg}(\text{干空气})]$
10	1 225	7.63
20	2 331	14.70
30	4 232	27.20

由于含湿量只能反映空气所含的水蒸气量的多少, 而不能反映空气的吸湿能力, 因此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相同温度下饱和水蒸气分压力之比

$$\varphi = \frac{p_v}{p_{v,s}} \times 100\% \quad (1-13)$$