

 北京劳动保障职业学院国家骨干校建设资助项目

中央空调运行管理实务



张宪金 常敬辉 任少博 苗金明  等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



北京劳动保障职业学院国家骨干校建设资助项目

中央空调运行管理实务

张宪金 常敬辉 任少博 苗金明
方广帅 王军成 郝 玲 王长连 编著



机械工业出版社

本书是为高职、高专物业管理专业、制冷与空调专业、楼宇自动化专业及其他相关专业编写的专业课教材,系统讲述了中央空调运行管理基础知识,详尽阐述了目前最常用的中央空调系统的工作原理、结构,以及系统的运行、维护、操作方法。本书主要内容包括中央空调运行管理基础知识、中央空调系统调试、中央空调运行管理制度建设和中央空调系统维修与保养四部分内容,重点突出对中央空调系统运行管理技术的培养和中央空调运行管理制度的创新能力培养。

本书也可供高等专科学校、业余大学的学生及函授生或专业培训人员使用,也可供本科生和从事制冷与空调相关行业的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

中央空调运行管理实务/张宪金等编著. —北京:机械工业出版社,2013.7
北京劳动保障职业学院国家骨干校建设资助项目
ISBN 978-7-111-43355-2

I. ①中… II. ①张… III. ①集中空气调节系统—运行—管理—高等职业教育—教材 IV. ①TB657.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第158627号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:罗莉 责任编辑:王欢

版式设计:常天培 责任校对:刘秀芝

封面设计:赵颖喆 责任印制:李洋

中国农业出版社印刷厂印刷

2013年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·18印张·445千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-43355-2

定价:50.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

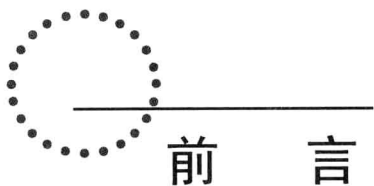
网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版



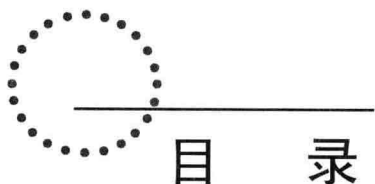
本书是为高职、高专物业管理专业、制冷与空调专业、楼宇自动化专业及其他相关专业编写的专业课试用教材。

高等职业教育旨在培养生产、服务、管理领域第一线工作的高素质应用型专门人才，其显著特征是具有一定的坚实的系统专业基础知识和较强的专业实际操作能力，以及灵活解决现场问题的能力。本书紧紧围绕高等职业教育的培养目标，结合中央空调系统运行管理岗位的基本技术要求，介绍了中央空调运行管理基础知识、中央空调系统调试、中央空调运行管理制度建设和中央空调系统维修与保养等四部分内容，共分8章。为了突出教材实用性及简明性的特点，本书只介绍较常见的民用集中式和半集中式舒适性空调系统，重点突出对中央空调系统的运行管理、系统维护、运行节能技术技能的培养。

为了更好地配合教学，在每章之后均给出了本章小结和思考与练习题。小结所列要点有利于学生自学和掌握重点、难点；所配的思考与练习题则可以起到引导自学、启发思维、检验学习效果等作用，同时也为开展讨论式教学创造了条件。需要特别指出的是，本书第五章“中央空调系统运行管理制度”作为教材的重要组成部分，相应教学内容可充分发挥学生的积极性和创造性，通过理论与实践紧密结合的方式，为提高学生的岗位职业能力奠定基础。

由于编著者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

作 者



目 录

前言

绪论	1
一、空气调节的任务	1
二、中央空调系统的组成和分类	1
三、中央空调运行管理重要性和任务	4
四、本书讲解的内容和重点	5
思考与练习题	5

第一章 湿空气物理性质和

空气处理过程

第一节 湿空气的组成和物理性质	6
一、湿空气的组成	6
二、湿空气状态参数	7
第二节 湿空气焓-湿图及其应用	12
一、湿空气焓-湿图($h-d$ 图)的组成	12
二、焓-湿图的应用	13
第三节 空气的热湿处理	16
一、空气加热(冷却)处理	16
二、空气加湿处理	16
三、除湿处理	20
四、空气净化处理	23
第四节 舒适性空调与环境评价	27
一、人体热平衡和舒适感	27
二、有效温度图和舒适区	27
三、热环境评价指标 PMV 和 PPD	28
四、室内空气参数选取	29
本章小结	30
思考与练习题	30

第二章 中央空调冷、热源

第一节 基本概念和制冷剂性质图	32
一、基本概念	32
二、制冷技术	33
三、制冷剂的定义和分类	34

四、制冷剂压-焓图	35
第二节 单级蒸气压缩式制冷循环	36
一、理想制冷循环——逆卡诺循环	36
二、饱和蒸气制冷循环	37
三、实际制冷循环	40
第三节 单级蒸气压缩式制冷循环的 工况分析	41
一、过冷度对制冷循环系统的影响	41
二、吸气过热对制冷循环的影响	42
三、蒸发温度和冷凝温度变化对 制冷循环系统的影响	42
第四节 中央空调制冷机组	44
一、活塞式冷水机组	44
二、螺杆式冷水机组	46
三、离心式冷水机组	47
四、制冷机组辅助设备	52
第五节 热泵机组	53
一、空气源热泵	54
二、地源热泵	55
三、热泵机组的优点	55
第六节 溴化锂吸收式制冷机组	55
一、溴化锂水溶液的特性	56
二、直燃双效溴化锂吸收式制冷机组的 典型流程和工作原理	56
三、典型溴化锂空调机组	58
四、溴化锂吸收式制冷机组的 主要辅助措施	59
本章小结	61
思考与练习题	61

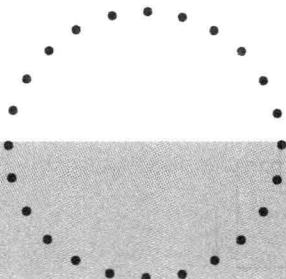
第三章 中央空调运行管理基础

第一节 空调热湿负荷及其计算方法	62
一、空调负荷的基本构成	62

二、室外空气计算参数	63	一、温、湿度的测试	113
三、计算方法概述	65	二、气流组织的测试	113
第二节 空调房间新风量和送风量的确定	68	三、室内正压值的测试	113
一、房间新风量的确定	68	第五节 中央空凋制冷机组运行调试	114
二、空调系统最小新风量的确定	70	一、活塞式制冷机组的调试与运行	114
三、房间送风量确定	71	二、离心式制冷机组的调试与运行	119
第三节 普通集中式空调系统	74	三、溴化锂吸收式制冷机的 调试与运行	122
一、一次回风系统	74	第六节 中央空凋调试常见故障及其 解决方法	126
二、二次回风系统	77	本章小结	128
三、集中式空调系统的特点	79	思考与练习题	128
四、组合式空调机组	79	第五章 中央空凋系统运行管理制度	129
第四节 风机盘管加新风空调系统	82	第一节 中央空凋系统运行管理概述	129
一、风机盘管的构造和特点	82	一、中央空凋系统运行管理目标	129
二、独立新风加风机盘管空调系统	83	二、影响管理目标实现的因素	132
三、风机盘管机组的供水系统	85	三、运行管理的基本内容	133
四、新风机组	85	四、运行管理准备工作	133
第五节 气流组织	86	五、管理工作的考评	134
一、气流组织形式	86	第二节 中央空凋系统节能运行措施	135
二、送风口形式	88	一、合理设定室内温、湿度	135
三、回(排)风口	90	二、控制室外新风量	136
四、空气分布性能的评价	91	三、正确利用新风量节能	137
第六节 消声隔振及防火排烟	93	四、合理确定开停机时间	138
一、中央空凋消声隔振处理	93	五、水泵(组)变流量运行	139
二、空调系统的隔振	94	六、冷却塔供冷	140
三、空调系统防火排烟	96	七、运行管理的自动控制	141
本章小结	98	八、其他技术措施	142
思考与练习题	98	第三节 运行人员的管理制度	143
第四章 中央空凋系统的调试	100	一、资格认证	143
第一节 空调系统的调试程序与仪表	100	二、业务学习与培训	143
一、调试的准备工作	100	三、运行管理人员岗位职责	144
二、调试的项目和程序	101	四、激励制度	146
三、空调系统测试常用仪表	102	第四节 中央空凋系统设备运行 管理制度	146
第二节 空调系统送风量的调试	104	一、设备操作规程	146
一、送风机的试运转	104	二、巡回检查制度	147
二、空调系统风量的测试	105	三、维护保养制度	150
三、通风机性能的测试	107	四、检查维修制度	151
四、空调系统送风量的调整	109	五、技术档案管理制度	151
第三节 冷(热)换热器与空凋机组 制冷量的测试	111	第五节 中央空凋系统运行管理制度	152
一、空调喷水室性能的测试	111	一、运行值班制度	152
二、表面式冷却器和加热器的测试	112	二、运行交接班管理制度	153
三、空凋机组的测试	112		
第四节 室内空气状态参数的测试	113		

三、机房管理制度	154	第一节 中央空调冷(热)水循环系统 ...	212
四、突发事件应急管理措施	154	一、空调冷(热)水循环系统的组成 ...	212
五、紧急情况应急处理措施	156	二、空调冷(热)水循环系统的形式 ...	213
第六节 其他管理制度	157	第二节 空调冷却水系统	218
一、润滑油的管理制度	157	一、冷却水系统的组成	218
二、制冷剂的管理制度	158	二、冷却塔	218
三、溴化锂溶液的管理制度	159	第三节 中央空调的水质管理与水处理	219
本章小结	162	一、空调系统水处理的必要性	219
思考与练习题	163	二、空调水系统的水质管理和 水质标准	220
第六章 中央空调自动控制系统的 运行管理	172	三、中央空调系统的水处理	221
第一节 中央空调制冷机组的自动控制	172	四、中央空调循环水系统的清洗	221
一、活塞式制冷机组的自动控制	172	第四节 中央空调水系统的运行管理	222
二、螺杆式制冷机组的自动控制	177	一、中央空调水系统巡检	222
三、离心式制冷机组的自动控制	183	二、中央空调水系统的维护保养	222
四、溴化锂吸收式制冷机组的 自动控制	185	三、水系统运行过程中常见问题及其 解决方法	224
第二节 全空气空调系统的自动控制	199	本章小结	226
一、全空气空调系统自动控制的 技术要点	199	思考与练习题	227
二、定风量与变风量空调的自动控制	200	第八章 中央空调系统设备的 维修与保养	228
三、过渡季节空调的自动控制	202	第一节 活塞式制冷机组的维修与保养	228
四、温度补偿、新风预热与湿度控制	204	一、活塞式制冷机组正常运转标志	228
第三节 风机盘管加新风系统的 自动控制	204	二、活塞式制冷机组的维修与保养	229
一、风机盘管系统自动控制的 技术要点	204	三、活塞式制冷机组常见问题及 处理方法	236
二、风机盘管定流量水系统的 自动控制	205	第二节 螺杆式制冷机组的维修与保养	238
三、风机盘管的变流量水系统	206	一、螺杆式制冷机组正常运转参数	238
四、新风系统自动控制的技术要点	206	二、螺杆式制冷机组的维护与保养	239
五、新风系统的自动控制方式	207	三、螺杆式制冷机组常见问题或故障及 处理方法	240
六、带有能量回收的新风机组的 自动控制	208	第三节 离心式制冷机组的维修与保养	245
第四节 中央空调自动控制系统的 运行管理	208	一、离心式制冷机组正常运转的标志	245
一、运行前的检查与准备	209	二、离心式制冷机组的维护与保养	246
二、运行期间参数的调整和记录	209	三、离心式制冷机组常见故障及 处理方法	248
三、自动控制系统的维护保养	210	第四节 溴化锂吸收式制冷机组的 维修与保养	250
本章小结	210	一、溴化锂吸收式制冷机组正常 运转标志和参数设置	250
思考与练习题	211	二、溴化锂吸收式制冷机组的维护保养 ...	251
第七章 中央空调水系统的运行管理 ...	212	三、直燃型溴化锂吸收式制冷机组常见 故障及其处理方法	255

第五节 空气处理设备的维修保养·····	260	二、水泵的维护与保养·····	268
一、风机盘管的维修保养·····	260	三、冷却塔的维修与保养·····	271
二、组合式空调器的维修与保养·····	263	第七节 中央空调风管系统的运行与维护·····	277
第六节 辅助设备的维修保养·····	265	本章小结·····	279
一、风机的维护与保养·····	265	思考与练习题·····	280



绪 论

近年来,随着我国社会经济的进一步发展、人民生活水平的提高,中央空调系统在大型公共建筑物与民用建筑物中广泛应用,如大会堂、会议室、图书馆、影剧院、体育馆、办公楼、商贸中心、飞机场等公用建筑均需空气调节设备。同时,伴随着旅游业及其他国际交流的发展,中央空调系统也被广泛应用于高级宾馆、酒店、商贸中心和游乐场等。近年来,由于中央空调耗能不容小觑,中央空调安全、高效运行管理方面也引起人们的普遍关注。

一、空气调节的任务

人类改造客观环境的能力,是随着社会生产力和科学技术的发展而逐渐发展的。随着现代科学的发展,以热力学、传热学、流体力学和建筑环境科学为基本理论基础,综合建筑、机械、电工、电子等工程学科的成果,形成了一个独立的现代空气调节技术的学科分支。它专门研究和解决各类工作、学习、生活、生产和科学实验所要求的空气环境问题。

所谓的空气调节 (air conditioning, 简称“空调”) 技术就是通过一定的技术手段将某一特定空间 (如房间、船舱、汽车) 内对空气的温度、湿度、空气流动速度及洁净度等进行人工调节,以满足工艺生产过程或人体舒适的要求。现代空调技术还泛指对空气的压力、成分、气味及噪声进行调节和控制,因此,采用现代技术手段,创造并保持一定要求的空气环境,就是空气调节的任务。

空气调节是实现空间内空气的温度、湿度、流动速度及洁净度等各参数的调节和控制。在工程上,将只能实现空气温度调节和控制的技术称为供暖或降温;将只实现空气洁净度处理和调节,并保持有害物质浓度在一定的卫生要求范围内的技术手段,称为通风。显然,这些都是调节和控制特定空间内空气环境的技术手段,只是在调节的要求上及调节空气环境参数的全面性方面与空气调节有别而已。此外,空气调节所需的冷、热源是为调节空气的温度、湿度服务的,可能是人工的,也可能是自然的。

二、中央空调系统的组成和分类

(一) 中央空调系统的组成

中央空调系统通常是由冷、热源和空气调节系统两部分组成。制冷设备为空气调节系统提供所需冷量 (冷源),用以抵消室内环境的冷负荷;制热设备 (锅炉、热泵等) 为空气调节系统提供抵消室内环境热负荷的热量。空气调节系统通常是由空调处理设备、空气输送设备、空气输送管道和空气分配装置所组成,如图 0-1 所示。在空气调节系统中,空调处理设备是其核心,它承担了空气温度、湿度、洁净度等各项参数的处理工作。

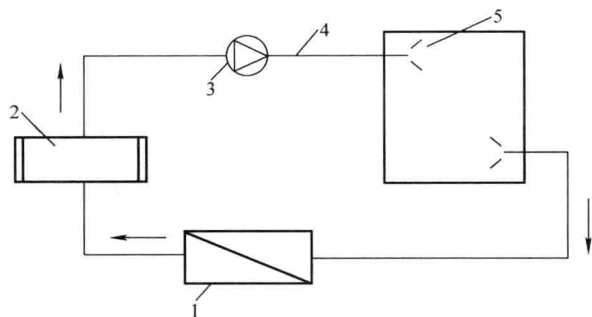


图 0-1 中央空调系统组成示意图

1—中央空调冷、热源 2—空调处理设备 3—空气输送设备
4—空气输送管道 5—空气分配装置（被控建筑物室内）

（二）中央空调分类

1. 按照中央空调的应用类型划分

空气调节应用于工业生产及科学研究过程中，一般称为“工艺性空调”；而应用于以满足人的生活和工作要求为主的空气环境调节则称为“舒适性空调”。工艺性空调应用非常广泛，根据不同的工艺要求对工艺性空调的空气调节参数要求也不同。在精密机械和仪表制造业中，为了避免元器件受到温度的变化而产生膨胀及湿度过大引起表面腐蚀，影响产品的精密度，一般都严格控制环境的基准温度和湿度，并制定严格的温度和湿度偏差范围，如 $(20 \pm 0.1)^\circ\text{C}$ ， $(50 \pm 5)\%$ 。在电子工业，除了有一定的温、湿度要求外，尤为重要是保证室内空气洁净度。对超大规模集成电路生产的某些工艺过程，空气中悬浮粒子的控制粒径已低于 $0.1\mu\text{m}$ ，规定每升空气中大于等于 $0.1\mu\text{m}$ 的粒子总数不得超过0.35粒。在药品、食品工业以及生物实验室、医院手术室等，不仅要求一定的空气温度、湿度、洁净度，而且要求控制空气中的含尘浓度及细菌数量。

2. 按照空气处理设备的设置划分

对于一般常用中央空调系统，按空气处理设备的设置情况不同，可分为集中式中央空调系统和半集中式中央空调系统。

（1）集中式中央空调系统

集中式中央空调系统是指集中的所有空气处理设备（包括风机、冷却器、加湿器、过滤器等）都设于一个集中空调机房内。空气处理所需的冷、热量是由集中设置的冷冻站、锅炉房或热交换站集中供给。

（2）半集中式中央空调系统

半集中式中央空调系统是指将除了设有集中处理新风空调机房和集中冷、热源外，还设有分散在各个空调房间里的二次设备（又称为末端装置）来承担一部分空调负荷，对送入空调房间内空气进一步补充处理。例如，一些办公楼、高级酒店中所采用的新风在空调机房中集中处理，然后与由风机盘管等末端装置处理的室内循环空气一起送入空调房间的系统就属于半集中式中央空调系统。

3. 按照承担室内热、湿负荷所用介质种类划分

对于一般常用中央空调系统，按照承担室内热、湿负荷所用介质种类不同，分为全空气

系统、全水系统和空气-水系统三种类型。

(1) 全空气系统

空调房间内的热、湿负荷全部是由经过处理的空气来承担的空调系统（见图 0-2a）。低速集中空调系统、双管高速空调系统均属于这一类型。由于空气的比热容较小，需要用较大的空气量才能达到消除室内余热、余湿的目的，因此该系统要求有较大的断面风道或较高的风速。对室内噪声要求较高或建筑物屋内空间较小的场合应慎用。

(2) 全水系统

在这种系统中，房间内的热、湿负荷全靠水作为冷热介质来负担（见图 0-2b）。由于水的比热容比空气大得多，所以在相同条件下，只需要较小的水量，从而使得管道所占空间大大减小。但是仅靠水来消除余热、余湿，并不能解决房间内的通风换气等卫生安全问题，因而通常不单独采用这种方法。

(3) 空气-水系统

该类系统是前两种系统的组合（见图 0-2c）。它结合前两种系统的优点，通过空气和水两种不同介质共同承担建筑物内的热、湿负荷。即通过水介质来承担大部分的冷、热负荷和湿负荷；通过新风处理系统满足室内通风和卫生环境的要求。例如，诱导空调系统和带新风的风机盘管系统就属于这种类型。该类中央空调系统也是目前大型建筑最常用的中央空调系统。

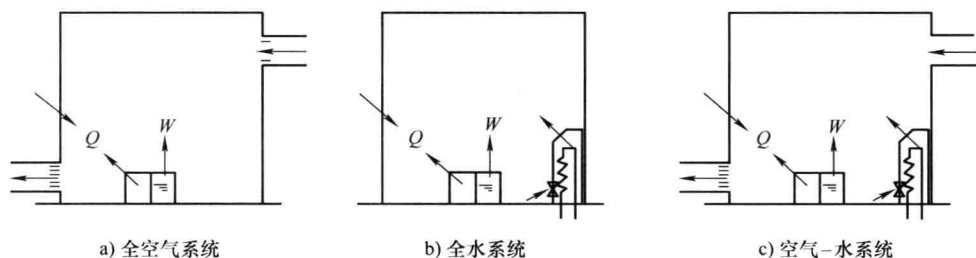


图 0-2 按照承担室内热、湿负荷所用介质种类对空调系统分类示意图

4. 按照中央空调系统中空气来源划分

对于一般常用中央空调系统，按照中央空调系统中空气来源不同，划分为封闭式系统、直流式系统、混合式系统三种类型。

(1) 封闭式系统

它处理的空气全部来源于空调房间本身，没有室外空气补充，全部为再循环空气，房间与空气处理设备间形成一个封闭环路（见图 0-3a）。这种系统冷、热消耗量最省，由于没有新鲜空气补入，因而卫生效果差，仅适宜于无人居住的场合，如很少有人进出的仓库。

(2) 直流式系统

它所处理的空气全部来自室外，室外空气经处理后送入室内，然后全部排出室外（见图 0-3b）。这种系统冷、热消耗量最大，卫生条件最好，适用于不允许采用回风的场合，如放射性实验室，以及卫生条件要求较高的宾馆和医院。

(3) 混合式系统

通过分析上述两种系统,封闭式系统不能满足卫生要求,直流式系统能源浪费较大而经济不合理,所以两者只能在特定情况下使用,对于绝大多数场合,往往综合这两者利弊,采用混合一部分回风的系统。这种系统既能够满足卫生要求,又经济合理,故应用最广(见图0-3c)。

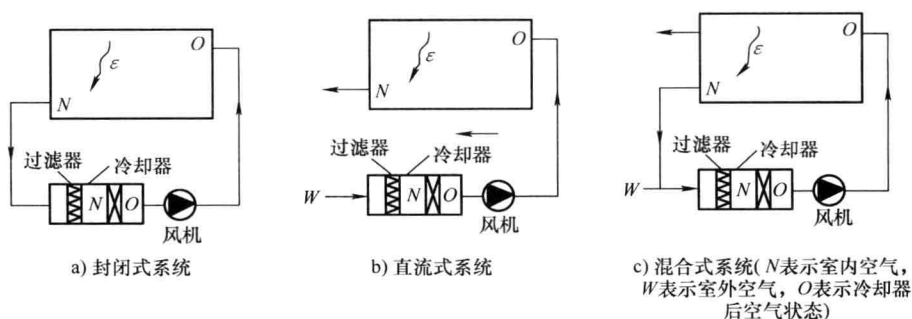
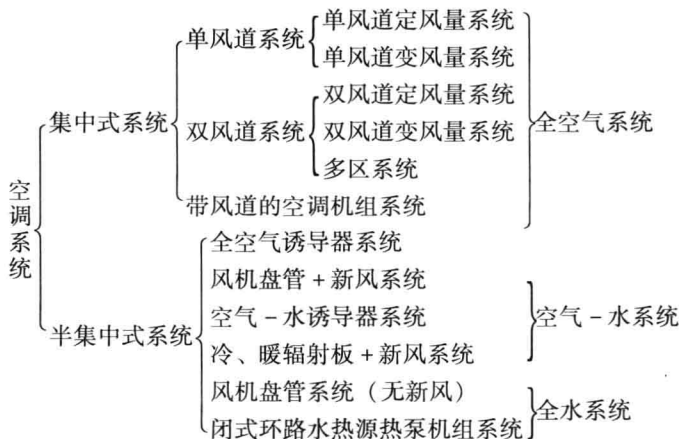


图0-3 根据处理空气来源对中央空调系统分类示意图

根据上面两种分类原则,可将中央空调系统分类如下:



三、中央空调运行管理重要性和任务

中央空调被广泛地应用于大型公用建筑、民用建筑和工业企业中,然而在其建设和运行维持建筑内部环境的同时,也对我们的环境和能源提出了挑战。这主要表现在全球变暖、大气臭氧破坏和能源危机三个方面。

由于空气调节要消耗能量,一些工业企业(如电子企业)的空调耗能约占总耗能的40%以上。而所消耗的电能或热能,大多数来自电站、热电站或独立的锅炉房。其燃烧的过程中的排放物,是造成大气层温室效应的根源。因此,节约能源不仅关系到能源的合理利用,而且关系到对地球环境的保护。因此,中央空调运行管理的一个重要任务就是,在满足生产、生活和工作环境要求之外,不断地研究科学的设备运行方法,提高设备的能量转换效率,改善系统能量综合利用效果,尽可能地寻求合理的运行调节方法,从而达到节约能源的目的。其次,采用压缩机制冷的空调冷源所用制冷剂多为卤代烃(如CFC、HCFC等)物质,这类制冷剂对臭氧层破坏最大,国际上已列为限用或禁用。因此通过分析中央空调在运行管理中

出现的实际问题,为制冷机组设备的改造和技术创新提出了迫切要求、提供了推动力。

再有,近来一些错误的中央空调运行管理理念有抬头的趋势(如大量采用合成材料用于建筑装饰和保温,尽量提高建筑物的密闭性,降低新风供给量)。尽管这样做能够最大程度地节约能源,但造成了空气卫生质量下降,出现了“令人疲倦和致病的空调杀手”建筑物。人们长期生活和工作在这种人工环境内,则会产生闷气、黏膜刺激、头痛及昏睡等症状。据初步研究,长期生活在空调环境中,一些人会产生“空调不适应症”。即空调长期维持“低温”,使皮肤汗腺和皮脂腺收缩、腺口闭塞,导致血流不畅、神经功能紊乱等各种症状。因此,中央空调运行管理另一项重要任务就是研究和创造有利于健康、适宜人类工作和生活的环境。

最后,中央空调系统在工程设计、设备制造质量和施工安装质量良好的情况下,中央空调运行管理的任务还包括:①空调系统投入使用后,如何保障设备安全、可靠、经济、合理运转;②如何对中央空调设备进行日常维护、保养,来延长机组使用寿命;③在空调设备出现故障后,如何快速有效地排除故障,将损失和影响降低至最小程度;④如何制定科学、完善的中央空调运行管理资料,如运行记录、维修保养记录、设备节能改造记录和年运行调节记录和结果成效分析,来为中央空调科学合理运行提供科学依据,不断完善中央空调系统节能运行管理方案,促进设备或空调系统的技术改进,提高技术人员的管理和技术水平。

综上所述,中央空调运行管理是一门复杂的、系统的学科,涉及了热力学、机械制造、电气工程、流体力学等多方面的知识。同时随着能源和环境问题的日趋严重,可以预见对中央空调运行管理的技术人才需求是十分迫切的,前景是广阔的。随着我国社会生产力的发展、人们生活水平的提高和科技的进步,还需要从事这一领域的人们进一步开拓。

四、本书讲解的内容和重点

应当说明,本书关注的重心不是中央空调系统的设计或设备选型,对于中央空调系统的设计或设备选型感兴趣的读者可参考相应的书籍,本书不再赘述。本书定位并服务于从事大型民用建筑“舒适性”中央空调的运行管理工作的技术人员,主要包括中央空调运行管理基础、中央空调系统调试、中央空调运行管理制度建设和中央空调维护与保养等四部分内容。

思考与练习题

- 0-1 什么是中央空调?中央空调系统由哪些部分组成?
- 0-2 简述中央空调系统的分类。
- 0-3 简述中央空调运行管理的目标和任务。
- 0-4 简述中央空调运行管理的重要性。

第一章

湿空气物理性质和空气处理过程

空气调节的目的在于创造一个满足人们生产、生活和科学实验所要求的空气环境。在大型民用建筑中，中央空调运行管理的首要任务就是创造出适合人体舒适感要求的室内空气环境。湿空气既是空气环境的主体，又是空气调节的处理对象。因而，需要对空气的物理性质和空气处理的过程有所了解。本章讨论下述4个问题：①湿空气的组成和物理性质；②湿空气焓湿图及其应用；③空气的湿热处理；④舒适性空调与环境评价。

第一节 湿空气的组成和物理性质

一、湿空气的组成

在空调工程中，空气或大气是由干空气和一定量的水蒸气混合而成的，我们称其为湿空气。干空气的成分主要是氮、氧、氩气及其他微量气体，多数成分比较稳定，可将干空气作为一个稳定的混合物来看待。

为统一干空气的热力学性质、标准组成，便于热工计算，一般将海平面高度的清洁干空气成分作为目前推荐的干空气标准成分，其主要成分见表1-1。

表 1-1 干空气的主要成分

主要组成成分	分子量	体积百分比
氮气	28.016	78.084
氧气	32.000	20.946
氩气	39.944	0.934
二氧化碳	44.010	0.033

干空气中除二氧化碳外，其他气体的含量是非常稳定的。而二氧化碳的含量随动、植物的生长状态，气象条件，生产排放物等因素有较大变化。然而由于其含量非常小，含量变化对于空气性质的影响可以忽略。所以在研究空气物理性质时，允许将干空气作为一个整体考虑。

湿空气中的水蒸气（简称蒸汽）含量很少。它来源于地球上的海洋、江河、湖泊表面水分的蒸发，各种生物的新陈代谢过程，以及生产工艺过程。在湿空气中，水蒸气所占的百分比是不稳定的，时常随着海拔、地区、季节、气候、湿源等各种条件而变化。虽然湿空气中水蒸气的含量少，但它对湿空气的状态变化影响却很大。由于它可以引起湿空气干、湿程度的改变，又会使湿空气的物理性质随之变化，并且对人体的舒适、产品质量、工艺过程和

设备的维护等将产生直接的影响, 所以本章会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, 还悬浮有尘埃、烟雾、微生物, 以及各种排放物等。它们虽然对空气品质会造成一定的影响, 但由于这些物质并不影响湿空气的物理性质, 因此本章不涉及这些内容。

二、湿空气状态参数

在空气调节系统的设计计算、空调设备的选择及运行管理中, 往往要涉及湿空气的状态参数和状态变化等问题。湿空气的物理性质也是由它的组成成分和所处的状态决定的。

在热力学中, 常温常压下 (空调属于此范畴) 的干空气可认为是理想气体。所谓理想气体, 就是假设气体分子是一些弹性的、不占空间的质点, 分子之间没有相互作用力。而湿空气中的水蒸气一般处于过热状态, 量很少, 可近似地视为理想气体。这样, 即可利用理想气体的状态方程式来表示干空气和水蒸气的主要状态参数——压力、温度、比体积等的相互关系, 即

$$p_g V = m_g R_g T \text{ 或 } p_g v_g = R_g T \quad (1-1)$$

$$p_q V = m_q R_q T \text{ 或 } p_q v_q = R_q T \quad (1-2)$$

式中 p_g, p_q ——干空气及水蒸气的压力 (Pa);

V ——湿空气的总容积 (m^3);

m_g, m_q ——干空气及水蒸气的质量 (kg);

R_g, R_q ——干空气及水蒸气的气体常数, $R_g = 287 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, $R_q = 461 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;

T ——湿空气的热力学温度 (K);

v_g, v_q ——干空气及水蒸气的比体积 (m^3/kg)。

湿空气的状态参数通常可以用压力、温度、含湿量、比焓 (全书简称为焓) 等参数来度量和描述, 这些参数称为湿空气的状态参数。下面分别叙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

环绕地球的空气层对单位地表面积所形成的压力称为大气压力 (或湿空气总压力), 大气压力通常用 B 表示, 单位用帕 (Pa) 或千帕 (kPa)。

大气压力不是一个定值, 它随各地海拔不同而存在差异。大气压力与海拔的关系如图 1-1 所示。海拔越高的地方, 大气压力越低。例如, 我国北部沿海城市天津海拔为 3.3 m, 夏季大气压力为 100480 Pa, 冬季为 102660 Pa; 西藏高原上的拉萨市海拔为 3658 m, 夏季大气压力为 65230 Pa, 冬季为 65000 Pa。可见, 拉萨市比沿海城市的气压低得多。

大气压力不仅与海拔有关, 还随季节、气候的变化稍有高低, 大气压力值一般在 $\pm 5\%$ 范围内波动。由于大气压力不同, 空气的物理性质也会不同, 反映空气物理性质的状态参数

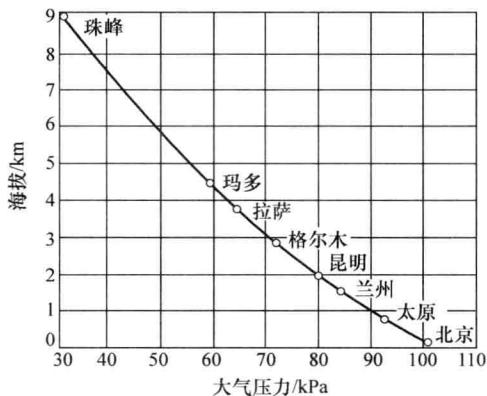


图 1-1 大气压与海拔的关系

也要发生变化。所以,在空气调节的设计和运行中,如果不考虑当地大气压力的大小,就会造成一定的误差。在工程热力学上,通常以北纬 45° 处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(单位为 atm),其数值为

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

应特别指出的是,在空调系统中,是用仪表测定空气压力的,但仪表上指示的压力称为工作压力(过去称为表压力),工作压力(也称真空压力)不是空气的绝对压力,而是与当地大气压的差值,其相互关系为

$$(\text{空气}) \text{ 绝对压力} = \text{当地大气压力} - \text{真空压力(表压力)} \quad (1-3)$$

如果没有特别指出,空气的压力都是指绝对压力。当地大气压力值可以用“大气压力计”测得。

【例 1-1】 在某一中央空调回风管道中,用斜式微压计测量风道的真空度,如图 1-2 所示,夹角为 $\alpha = 30^\circ$,压力计中使用液体密度 $\rho = 0.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 的煤油,斜管中液注长度 $l = 200 \text{ mm}$ 。求风道中的空气真空压力值(Pa)?若当地大气压力为 101325 Pa ,求风道中空气的绝对大气压力?

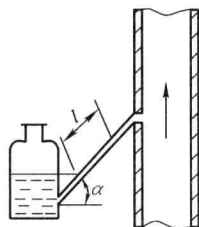


图 1-2 例 1-1 示意图

解: 回风管道的空气真空压力为

$$p_v = \rho g l \sin \alpha = (0.8 \times 10^3 \times 0.2 \times 0.5) \text{ Pa} = 80 \text{ Pa}$$

由式(1-3)得风道的空气绝对压力为大气压力减真空压力,即

$$\begin{aligned} p &= B - p_v \\ &= 101325 \text{ Pa} - 80 \text{ Pa} \\ &= 101245 \text{ Pa} \end{aligned}$$

2. 水蒸气分压力与饱和水蒸气分压力

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,称之为水蒸气分压力,用 p_q 表示。

根据道尔顿定律,理想的混合气体的总压力等于组成该混合气体的各种气体的分压力之和,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,湿空气可视为理想气体,其湿空气的总压力(大气压力)(单位为 Pa)为干空气的分压力与水蒸气的分压力之和,即

$$B = p_g + p_q \quad (1-4)$$

从气体分子运动论的观点来看,压力是由于气体分子撞击容器壁而产生的宏观效果。因此,水蒸气分压力大小直接反映了水蒸气含量的多少。

在一定温度下,空气中的水蒸气含量越多,空气就越潮湿,水蒸气分压力也越大。如果空气中水蒸气的含量超过某一限量时,多余的水蒸气就会凝结成水而从空气中析出。这说明,在一定温度条件下,湿空气中的水蒸气含量达到最大限度时,则称为湿空气处于饱和状态,也称为饱和空气,此时相应的水蒸气分压力称为饱和水蒸气分压力,用 $p_{q,b}$ 表示。饱和水蒸气分压力 $p_{q,b}$ 仅取决于空气的温度。

(二) 温度

温度是表示空气的冷热程度的。温度的高低用“温标”来衡量。目前国际上常用的有绝对温标(又称为开氏温标),符号为 T ,单位为 K;摄氏温标,符号为 t ,单位为 $^\circ\text{C}$;有的

国家也采用华氏温标, 符号为 Q , 单位为 $^{\circ}\text{F}$ 。这三种温标的换算关系为

$$t = T - 273.15 \approx T - 273 \quad (1-5)$$

$$t = \frac{5}{9}(Q - 32) \quad (1-6)$$

1. 干球温度 t 与湿球温度 t_s

图 1-3 所示的干、湿球温度计是一个典型的空气干、湿球温度测量仪器。这种测量仪表由两支温度计或由两个其他的温度敏感元件所组成。其中一支温度计的感温头上包裹脱脂棉纱布, 纱布的下端浸入盛有蒸馏水的容器中, 在毛细管作用下, 纱布处于润湿状态, 将此温度计称为湿球温度计, 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作干球温度计, 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。分别用 t 和 t_s 表示空气的干球温度和湿球温度。

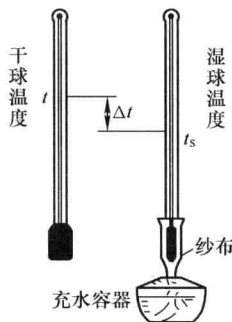


图 1-3 干、湿球温度计测试原理

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, 并不是任何一个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。这是因为热湿交换达到平衡时, 空气对湿球纱布的对流热量等于湿球纱布上水分散发所吸收的汽化热 (曾称为汽化潜热)。

应该指出的是, 由于水与空气之间的热湿交换过程都与湿球周围的空气流速有关。因此, 在相同的空气条件下, 空气流过湿球纱布表面的流速不同时, 所测得的湿球温度也会产生差异。当空气流速较小时, 热湿交换不充分, 所测得湿球温度误差较大; 当空气流速较大时, 热湿交换进行得充分, 所测得湿球温度较准确。实验表明, 当空气流速为 $0.5 \sim 4\text{m/s}$ 时, 湿球温度趋于稳定。因而, 要准确反映空气的湿球温度, 应使流经湿球纱布的空气流速在 2.5m/s 以上。空气的干球、湿球温差集中反映了空气相对湿度的大小。

2. 露点温度 t_L

若假设空气中水蒸气质量不变 (即空气含湿量不变), 在冷却空气时, 随着空气温度的下降, 空气达到饱和状态, 这时空气所对应的温度就称为露点温度, 用 t_L 表示。这时, 如果对空气温度进一步冷却, 空气中就会有水析出, 空气的含湿量开始减少。

在空调技术中, 常利用冷却方法使空气温度降到露点温度以下, 以便水蒸气从空气中析出凝结成水, 从而达到干燥空气的目的。

如果在某种空气环境中有一个冷表面温度为 t_w , 当 $t_w < t_L$ 时, 该表面上就会有凝结水出现, 即结露; 而当表面温度 $t_w > t_L$ 时, 不结露。由此可见, 是否结露取决于表面温度和空气露点温度两者间的关系。在空调工程中, 要确保冷水和冷凝水管道表面温度大于露点温度, 以免造成不必要的损失。

3. 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。

在加湿或减湿空气处理过程中, 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 $\varphi = 100\%$ 状态, 习惯上将其状态称为“机器露点”。