

中央空调专业
必备参考用书

中央空调 设计及典型案例

张国东 主编

CENTRAL
AIR
CONDITIONING
Design and Typical Cases



化学工业出版社

中央空调 设计及典型案例

张国东 主编

**CENTRAL
AIR
CONDITIONING**
Design and Typical Cases



化学工业出版社

· 北京 ·

本书内容主要介绍了中央空调基础理论,中央空调冷负荷与送风量,中央空调风系统,中央空调水系统,中央空调冷热源及机房设计,中央空调系统的消声、防振与防火排烟设计等内容,同时分析了中央空调设计中存在的问题和典型实例。本书内容丰富、图文并茂,在强调实用性的前提下,充分重视内容的先进性,较好地与现行最新国家设计规范和施工安装规范保持一致,对于提高从业者职业素质,掌握中央空调设计的职业能力有较大的帮助和指导作用。

本书除适用于高职、中职制冷专业作为专业教学教材外,也可用于劳动和社会保障系统、社会力量办学以及其他培训机构所举办的培训教学,还适用于各级各类职业技术学校举办的中短期培训教学,以及企业内部的培训教学。

图书在版编目 (CIP) 数据

中央空调设计及典型案例/张国东主编. —北京: 化学工业出版社, 2017. 1

ISBN 978-7-122-28571-3

I. ①中… II. ①张… III. ①集中空气调节系统-系统设计-案例 IV. ①TB657. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 287015 号

责任编辑: 辛 田

文字编辑: 冯国庆

责任校对: 边 涛

装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 16 字数 398 千字 2017 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究



伴随着我国经济的高速发展,在各种大中型企业、民用建筑、娱乐场所及购物中心等普遍使用中央空调系统来对空气进行调节。中央空调的使用极大地改善了人们的工作和生活环境,它已成为了现代社会的必要技术装备。随之,各地对经过训练的应用型空调专业技术人才的需求也越来越多。为适应这种需要,笔者编写了此书。

本书共7章,内容主要包括中央空调基础理论,中央空调冷负荷与送风量,中央空调风系统,中央空调水系统,中央空调冷热源及机房设计,中央空调系统的消声、防振与防火排烟设计等内容,并分析了中央空调设计中存在的问题和典型实例。

本书内容丰富、图文并茂,在强调实用性的前提下,充分重视内容的先进性,较好地与现行最新国家设计规范和施工安装规范保持一致,对于提高从业者职业素质,掌握中央空调设计的职业能力有较大的帮助和指导作用。

本书除适用于高职、中职制冷专业作为专业教学教材外,也可用于劳动和社会保障系统、社会力量办学以及其他培训机构所举办的培训教学,还适用于各级各类职业技术学校举办的中短期培训教学,以及企业内部的培训教学。

本书由张国东担任主编,冯飞任副主编。编写分工如下:第1、2章冯飞,第3、4章陶洁,第5~7章张国东。本书在编写过程中,得到了魏龙、张蕾、金良、蒋李斌、沈宫新、李建雄、张桂娥等的大力帮助,在此一并表示衷心感谢。

限于笔者的水平,书中疏漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编者

第1章 中央空调基础理论/1

- 1.1 中央空调的任务和发展方向/2
 - 1.1.1 中央空调的任务/2
 - 1.1.2 中央空调的发展方向/3
- 1.2 国内常用中央空调的市场布局/3
- 1.3 中央空调的调节对象——湿空气/5
 - 1.3.1 湿空气的组成/5
 - 1.3.2 湿空气的状态参数/5
 - 1.3.3 几种在空调工程中的常用温度/10
- 1.4 湿空气焓湿图/10
 - 1.4.1 焓湿图的组成/10
 - 1.4.2 焓湿图在空气调节中的应用/12
- 1.5 湿空气的热湿处理的几种典型过程在焓湿图上的表述/12
 - 1.5.1 确定空气状态参数/12
 - 1.5.2 确定湿空气状态变化的过程/13
 - 1.5.3 确定湿空气的混合过程/15
 - 1.5.4 确定送风状态点和送风量/16
- 1.6 中央空调系统的空气热湿处理的常用途径和方案/17
 - 1.6.1 夏季热湿处理的常用途径与方案/18
 - 1.6.2 冬季热湿处理常用途径与方案/18
 - 1.6.3 中央空调常用的加热与冷却设备/19
 - 1.6.4 空气的加湿与除湿设备/35
- 1.7 空调的舒适性与热环境评价指标 PMV 和 PPD/38
 - 1.7.1 室内空调的舒适图/38
 - 1.7.2 人体舒适方程式/41
 - 1.7.3 热环境评价指标 PMV 和 PPD/41
- 1.8 设计参考规范及标准/42

第2章 中央空调冷负荷与送风量/43

- 2.1 室内外设计参数/44
 - 2.1.1 室外气象参数/44
 - 2.1.2 室内设计参数/45
- 2.2 中央空调系统分区和空调负荷计算/46
 - 2.2.1 中央空调系统分区/46
 - 2.2.2 墙体传热冷负荷计算/48
 - 2.2.3 外窗冷负荷计算/49
 - 2.2.4 人体、照明、设备散热冷负荷计算/50
 - 2.2.5 冷负荷计算值的确定/51
 - 2.2.6 各种散湿量的计算/52

- 2.3 空调房间送风量和送风状态/53
 - 2.3.1 空调房间送风状态的变化过程/53
 - 2.3.2 夏季送风状态的确定及送风量的计算/54
 - 2.3.3 冬季送风状态的确定及送风量的计算/56
- 2.4 送风中的新风量/57
 - 2.4.1 新风量确定的原则/57
 - 2.4.2 新风量的确定/57
- 2.5 制冷负荷估算及冷负荷计算软件/59
 - 2.5.1 制冷负荷估算/59
 - 2.5.2 冷负荷计算软件/59

第3章 中央空调风系统/61

- 3.1 风系统的组成/62
 - 3.1.1 送风口和回风口的形式/63
 - 3.1.2 风系统的设备和附件/67
- 3.2 气流组织的形式与设计计算/70
 - 3.2.1 气流组织的形式/71
 - 3.2.2 气流组织的设计计算/72
- 3.3 风管系统的设计计算/77
 - 3.3.1 风管设计计算/77
 - 3.3.2 风管的布置/80
 - 3.3.3 风管阻力计算/81
 - 3.3.4 风管绝热层的设计/84
 - 3.3.5 风机的选择与校核/85

第4章 中央空调水系统/87

- 4.1 水系统的组成/88
 - 4.1.1 水系统的形式/88
 - 4.1.2 水系统的设备和附件/93
- 4.2 水系统的设计计算/107
 - 4.2.1 水系统的承压和冷热源设备的布置/107
 - 4.2.2 水系统的管路设计计算/111
 - 4.2.3 凝结水管路系统的设计/117
 - 4.2.4 水管保温层的设计/118
- 4.3 定流量水系统与变流量水系统/119
 - 4.3.1 定流量水系统与变流量水系统的应用/119
 - 4.3.2 变流量水系统的方式及其优点/120
 - 4.3.3 变流量水系统设计流量的查算方法/122

第5章 中央空调冷热源及机房设计/125

- 5.1 冷热源及其选择/126
 - 5.1.1 冷热源的种类及特点/126
 - 5.1.2 冷热源的选择与组合/137
- 5.2 机房的设计与布置/141
 - 5.2.1 机房设计与布置的一般要求/141
 - 5.2.2 机房平面布置示例/141

第6章 中央空调系统的消声、防振与防火排烟设计/143

- 6.1 空调系统的消声设计/144
 - 6.1.1 空调系统的噪声源/144
 - 6.1.2 空调系统的噪声标准/145
 - 6.1.3 消声器/145
- 6.2 空调系统的隔振设计/149
 - 6.2.1 隔振材料和隔振装置/149
 - 6.2.2 空调系统的隔振设计/151
 - 6.2.3 防振措施的若干实例/152
- 6.3 空调建筑的防火排烟设计/154
 - 6.3.1 建筑设计的防火和防烟分区 /154
 - 6.3.2 空调系统的防火与防排烟设计/155

第7章 中央空调设计实例/165

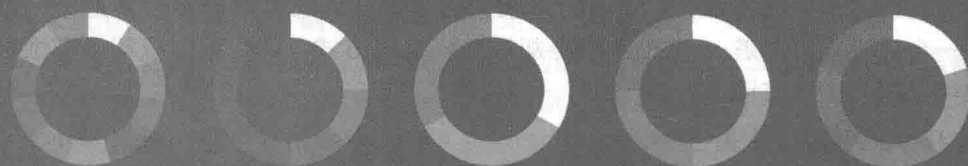
- 7.1 中央空调设计中存在的问题与分析/166
 - 7.1.1 空调方面存在的问题与分析/166
 - 7.1.2 通风方面存在的问题与分析/168
 - 7.1.3 采暖方面存在的问题与分析/170
 - 7.1.4 防火、防排烟方面存在的问题与分析/174
 - 7.1.5 动力方面存在的问题与分析/182
 - 7.1.6 环境保护方面存在的问题与分析/188
 - 7.1.7 设计图纸方面存在的问题 /188
- 7.2 空调系统设备选型实例/190
 - 7.2.1 机组的选型/190
 - 7.2.2 辅助设备的选型/191
- 7.3 中央空调工程设计实例/191
 - 7.3.1 中央空调工程设计方法/191
 - 7.3.2 中央空调工程设计实例/196

附录/203

参考文献/250

第1章

中央空调基础理论



为满足人们生活和生产科研活动对室内气候条件的要求，需要对空气进行适当的处理，使室内空气的温度、湿度、洁净度和气流速度等保持在一定的范围内。这种制造人工室内气候环境的技术措施称为空气调节，简称空调。将室内的温度和湿度保持在一定的范围内是空调最基本的任务。

1.1 中央空调的任务和发展方向

根据服务对象不同，空调分为舒适性空调和工艺性空调两大类。舒适性空调以室内人员为对象，着眼于制造出满足人体卫生要求、使人感到舒适的室内气候环境。民用建筑和公共建筑的空调多属于舒适性空调。工艺性空调主要以工艺过程为对象，着眼于制造符合工艺过程（包括物品储存和设备运转）所要求的室内气候环境，同时尽量兼顾人体的卫生要求。车间、仓库、电子计算机房、程控交换机房等的空调属于工艺性空调。

按空调设备设置情况的不同，空调系统可分为局部机组式、半集中式和集中式三类。

局部机组式系统的特点是将具有完整系统的独立式空调器（自身具有制冷系统）直接安装在各个要求有空调的房间内。例如，在各空调房间内分散安装窗式空调器或分体式空调器等。因此，局部机组式系统又称全分散系统。

半集中式系统的特点是将空调用冷热源装置集中安装在中央机房内，各空调房则采用不带制冷系统的非独立式空调器，如诱导器、风机盘管空调器或不带制冷系统的柜式空调器。这种系统需用输送冷热媒（冷水或热水）的管道，将中央机房内的冷源（冷水机组）、热源（热水器或中央热水机组）、循环水泵和空调房内的空调机换热器（水-空气换热器）盘管连接起来。

集中式系统的特点是设有专用的空调机房，新风（室外新鲜空气）和回风（室内循环空气）经由新风管及回风管或直接在机房上开设的新风口与回风口进入机房混合，再经空调机集中处理后，由送风管道输送到各送风口，送入空调房间。它可以是一个大型房间设一个或几个空调机房，也可以是多个中小型房间共用同一个空调机房。集中式系统采用的空调机，根据是否设中央机房集中生产和供应冷热媒，相应选用非独立式或独立式机组。

工程上通常将集中式和半集中式空调系统统称为中央空调系统。宾馆和多功能大型综合楼的中央空调系统，一般都没有中央机房，并且楼中的餐厅、商场、舞厅、展览厅、营业厅、大会议室、半间隔的大统间办公室等多采用集中式系统；而中小型会议室、办公室和客房等则采用风机盘管加独立新风系统。对于局部机组式系统小的局部机组，如果其制冷系统冷凝方式为水冷却，则可以通过水管将若干台局部机组串接起来形成一个系统，共用一台或一组冷却塔。这种集中冷却的系统组成方式，称作集中冷却分散型机组系统，也可以视为中央空调系统的一种。

1.1.1 中央空调的任务

中央空调的任务就是要对空气进行调节和控制，使其达到所要求的室内空气环境。其具体任务如下。

（1）创造出适合人体舒适感的室内空气环境 由于室内空气环境对人体的舒适感有着非常重要的作用，因此创造人体舒适感所要求的室内空气环境，就成为空调工作的首要任务。如要求室内空气温度为 $24^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为 $55\% \pm 5\%$ ，那么空调工作不仅

要保持 24℃ 的温度基数和 55% 的湿度基数, 而且还要确保 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 的温度精度、 $\pm 5\%$ 的湿度精度 (即允许温度、湿度的波动范围) 以及较高的新鲜度和洁净度。

(2) 满足工艺生产所需求的室内空气环境 某些工艺生产的工序对温度、湿度环境要求极高, 温度、湿度条件不仅直接影响生产工序的正常进行, 而且还影响着产品的产量和质量。

(3) 排除室内有害气体和集中散发的热量与湿量 舒适空调房间的二氧化碳及卫生间的不良气味, 工艺空调的生产车间所产生的有毒、有味等有害气体, 以及大量散发热量和湿量的局部部位, 均需通过它调节排风设施予以消除, 这样才能获得一个良好的室内空气环境。

1.1.2 中央空调的发展方向

影响人的舒适与健康最为直接的因素就是建筑室内环境。人们运用中央空调技术创造了美好的建筑室内环境, 同时却使室外自然环境遭到破坏。氯氟烃 (CFC) 制冷剂正在破坏保护人类生存的大气臭氧层, 大量化石能源的使用使得可供利用的自然资源日益枯竭, 大气、水和土壤正受到污染, 夏季空调排出的热也造成“热岛”现象, 恶化了所处的城市环境。为了贯彻可持续发展战略, 建筑与空调未来的发展必须坚持“绿色建筑”和“绿色空调”的方向。

所谓“绿色建筑”就是指能为建筑中的人提供健康、舒适、安全、方便的室内环境, 而又不损害周边、区域乃至全球环境, 充分开发利用可再生能源和高效利用自然资源的建筑, 同时, 符合这种条件的空调称为“绿色空调”。

“绿色空调”是中央空调发展的必然方向。总部设在澳大利亚的“世界绿色建筑委员会”为推动全世界“绿色建筑”与“绿色空调”起了重大作用, 中国的“绿色建筑”也已在北京、深圳和哈尔滨等地展开。

未来几年, 中国商用中央空调行业仍将保持发展势头, 商用中央空调企业之间的差距有可能进一步加大, 企业要想在激烈的市场中取胜, 必须准确给自己定位, 在提升企业整体实力的同时, 应加大技术与产品创新的力度, 整合企业内部与外部资源。

1.2 国内常用中央空调的市场布局

我国本土空调企业涉足中央空调市场已经有 20 余年, 在新近的 10 年强势崛起, 并在市场占据一席之地。本土空调品牌近年来在家用空调市场做出了很大的成绩。随着格力、美的、海尔、志高等空调企业的不断成长壮大, 家用空调市场逐渐“驱逐”了外资品牌, 成为我国家用空调市场的领军企业, 牢牢掌握市场主动权。国产品牌不比国外品牌差的想法逐渐深入人心, 这在很大程度上为国内一线空调企业积累了良好的信誉和口碑, 为本土品牌开拓中央空调市场奠定了一定的群众基础。

2014 年共有 15 个企业的出货额超过 10 亿元, 总出货额占整个中国中央空调市场的比例达到了 84.6%。同时, 出货额在 5 亿元以上的品牌数量同比 2013 年也增加了 2 个。在这些主导乃至主流品牌的拉动下, 2014 年中国中央空调市场在经济环境和行业环境均不太理想的情况下实现总容量的继续攀升, 总出货额突破 700 亿元大关, 同比 2013 年增长 9.0%。

然而, 到了 2015 年, 国内外经济复杂多变, 全球经济表现出极为复杂的走势。诸多不利因素的叠加, 带给中国中央空调产业巨大的压力。不仅对中央空调产业链的盈利生存构成威胁, 而且对行业的信心打击巨大。截止到 2015 年底, 行业出货总量约为 600.5

亿元,较之2014年同比下滑7.04%,自2008年全球金融危机以来回落最大,也是2013年、2014年连续两年增长后的再次回落。回顾总结2015年中国中央空调市场,特点明显,主要体现在以下几个方面。

(1) 需求结构发生变化 国内中央空调的需求,以往集中在工业和大型项目上,随着工业化的逐步完成和城镇化进程加速,已经被以个人居住、生活改善、商业娱乐等消费类需求所取代。

(2) 需求区域有所变化 国内中央空调市场以往都是集中在大中城市,县级以下的乡镇很少有所涉及。随着大中城市的需求饱和,加上城镇化的步伐始终没有停歇,由此带来的需求和商机不容忽视。因此,中央空调从大中城市向中小城市再向县以下小城镇延伸已经成为一种趋势,其潜在商机非常巨大。

(3) 从互联网思维到互联网做法的落地 2015年,依靠互联网的融资平台在中央空调领域出现,共享众筹模式的落地,对资金需求比较大的中央空调来说,无疑是一个从资金层面的大变革,为行业融资开辟了一个前所未有的新模式。

(4) 价格战带来的盈利水平大幅下滑 中央空调行业还处于竞争并不充分的发展时期。为了争夺市场和客户资源,一些厂家采取了低利润的竞争手法。相关数据显示,2015年,行业单品平均利润水平下降至少在20%以上。由此带来的利润下滑,甚至亏损经营,已经伤害到行业的健康有序发展。

(5) 去库存,为上年买单 2015年的行业库存高,从某种意义上说是2014年度厂家过度营销的结果。2014年,整体经济开始回落,压货模式引进到中央空调领域,巨大的市场压力转嫁给代理商,造成虽然2014年经济不景气,但中央空调行业依然增长超过10%。进入2015年,经济环境依旧没有改观,而累积的库存显现出巨大压力。造成2015年行业围绕去库存展开营销活动,同时也是造成价格战的根本性原因。

(6) “抱团取暖”成为新的生存方式 2015年,为抗衡市场低迷而出现的业内并购或合作要比往年频繁。如开利分别与美的、天加展开深度合作,美的同时与博世取得合作。市场上原本的激烈竞争关系,在环境的催逼下转换成竞合关系。

(7) 产业链上下游连带受到冲击 在中央空调前几年高速增长时期,带动了上游的压缩机、制冷剂、铜管等产能的扩展,产能过剩的情况逐渐显现出来。随着2015年需求的萎缩,压缩机、制冷剂等主流厂家逐步停止扩展步伐,原计划新投产的产能也放缓周期。不仅限于上游,与中央空调相伴而生的设计院,在2015年启动了裁员和降薪的“瘦身”办法,以图度过运营的艰难时期。

(8) 各大品牌表现基本一致 虽然2015年的市场并不理想,但品牌格局却是相对稳定的,不仅退出或新进品牌甚少,而且品牌排序上与2014年相比几乎没有大的变化,平稳发展是新常态。可以说,各自耕耘、难有突破、格局稳定,是当前中央空调产业格局的最大特点。

(9) 机型特征“大弱小强” 市场销量萎缩,各类机型全部出现销量回落。冷水机组(离心机、风冷螺杆机、水冷螺杆机、模块机)、制冷剂变流量机组(变频多联机与数码多联机)、溴化锂机组、水地源热泵机组、单元机组、末端共6大主流产品系列,在2015年全面呈现走弱态势,而小型机组则略有上升。

近年来,我国中央空调企业依然没有走出劳动密集型的生产模式,相比较而言,真正的自有技术还比较少,在综合实力上依旧处于劣势。国产品牌在小型机组的市场占有率虽然抢眼,但是在高端市场,与外资品牌仍有一定差距。而且这种差距有可能会进一步加大,本土企业要想在激烈的市场竞争中取胜,除准确定位外,还要持续加大技术与

增加。当湿空气的温度升高,则相应温度下的水蒸气的饱和压力也相应升高,即湿空气中饱和水蒸气的分压力也随之增加,此时的湿空气已不是饱和湿空气。所以,饱和湿空气中水蒸气的含量达到最大值,不可能再增加。如果增加则将以水滴的形式分离出来。

综上所述,湿空气中可容纳的水蒸气的数量是有限的。在一定温度下,水蒸气分压力越大,则湿空气中水蒸气的含量越多,空气越潮湿,所以湿空气中水蒸气分压力的大小直接反映了湿空气的干湿程度。

实际上除了在接近水面的地方或潮湿的草地处且空气流动不好的情况下,大气中水蒸气分压力 p_v 一般总是小于对应温度下的水蒸气饱和压力 p_{sa} , 所以,平常接触的湿空气一般都是不饱和湿空气。

1.3.2.2 温度

温度是描述空气冷热程度的物理量,主要有三种表示方法,即摄氏温标、华氏温标和热力学温标(又称绝对温标或开氏温标)。

摄氏温标用符号 t 表示,单位是 $^{\circ}\text{C}$;华氏温标用符号 t_f 表示,单位是 $^{\circ}\text{F}$;热力学温标用符号 T 表示,单位是 K。三种温标间的换算关系如下。

$$T = t + 273 \tag{1-2}$$

$$t = T - 273 \tag{1-3}$$

$$t_f = \frac{9}{5}t + 32 \tag{1-4}$$

就湿空气而言,还有三种特殊的描述其温度的参数,即干球温度、湿球温度和露点温度。

(1) 干球温度 干球温度可以直接由普通温度计在空气中测得,是指将温度计的测温头(感温部分)直接暴露于空气中所测得的温度,也称为湿空气的真实温度,以符号 t 表示。

干球温度只能反映湿空气的测量温度,并不能反映出湿空气中水蒸气含量的多少和湿空气是否还具有吸收水蒸气的能力。

(2) 湿球温度 如图 1-2 所示为干湿球温度计。其中没有包纱布的温度计是干球温度计,它所测的是湿空气的干球温度 t 。另一支温度计的感温部分包有浸于水中的湿纱布,该温度计称为湿球温度计。将湿球温度计置于温度和湿度均不变的空气流中,且保持纱布的湿润状态,当达到稳定状态时,温度计指示的温度称为湿球温度,以符号 t_s 表示。

湿球温度的测量原理如下:如果湿空气是不饱和的,湿纱布中的水将向空气中蒸发而吸收水的热量使水温降低,形成空气与水之间的传热温差,热量将由空气传给湿纱布中的水,若水蒸发所需的热量大于空气向水传递的热量时,则水温继续下降,直到纱布表面水蒸发所需的热量正好等于空气向水传递的热量时,纱布中的水温则不再下降,达到平衡,这个稳定的温度就称为湿球温度。整个蒸发和传热过程可以近似看作是定焓过程。由此可以看出,湿球温度的高低取决于湿空气的温度和湿度。当空气的温度一定时,湿度越大,测得的湿球温度越接近空气的干球温度;当空气中的水蒸气达到饱和状态时,测得的湿球温度与干球温度相等。为保证测量准确,空气的流速不应低于 5m/s。

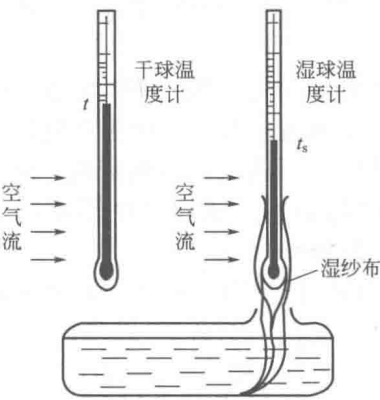


图 1-2 干湿球温度计

(3) 露点温度 对不饱和的湿空气, 保持其含湿量不变, 即保持 p_v 不变, 逐渐降低温度, 其状态将沿等压线变化。如图 1-1 中, 由 $A \rightarrow C$, 这时的温度即对应于水蒸气分压力 p_v 下的饱和温度, 也即此时水蒸气的分压力 p_v 等于该温度下水蒸气的饱和压力 p_{sa} , 水蒸气达到饱和状态, 湿空气也成为饱和湿空气。如果继续降温, 则湿空气中的水蒸气将开始凝结成水滴从湿空气中分离出来, 称为结露。开始结露时的温度称为露点温度, 简称为露点, 用符号 t_L 表示。所以露点温度就是湿空气中水蒸气分压力 p_v 所对应的饱和温度。空气中水蒸气的含量高时水蒸气分压力 p_v 就大, 它所对应的饱和温度即露点温度 t_L 就高; 反之空气中的水蒸气含量低, 则 t_L 就低。

无论在工程中还是生活中, 结露现象都是普遍存在的。秋天早晨室外花草树叶上的露水, 冬天房屋窗玻璃内侧的水雾, 空调机组蒸发器表面的水珠等, 都是由于湿空气遇到了低于其露点温度的冷表面时, 其中水蒸气凝结为水的结露现象。在空气调节中, 常常利用露点来控制空气的干、湿程度, 如果空气太潮湿, 就可将其温度降至其露点温度以下, 使多余的水蒸气凝结为水析出去, 从而达到去湿的目的。这一结露过程就是湿空气处理过程中的冷却干燥过程。

当露点温度 t_L 低于 0°C 时, 如湿空气的温度等于露点温度, 那么水蒸气就直接凝固为冰, 称为结霜。因此, 根据露点温度可以预报是否有霜冻。露点温度 t_L 是湿空气的一个重要参数。

(4) 干球温度、湿球温度与露点温度之间的关系 除干球温度外, 湿球温度、露点温度都与湿空气中的水蒸气的含量有关, 所以当空气为不饱和湿空气时, $t > t_s > t_L$; 当空气为饱和湿空气时, $t = t_s = t_L$ 。

1.3.2.3 密度和比体积

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, 用表示 ρ , 单位为 kg/m^3 。

空气的比体积是指单位质量的空气所占有的体积, 用符号 v 表示, 单位为 m^3/kg , 因此空气的密度与比体积互为倒数关系, 即

$$\rho = \frac{1}{v} \quad (1-5)$$

1.3.2.4 湿空气的湿度

湿空气中水蒸气的含量称为湿度。空气的湿度有绝对湿度、相对湿度和含湿量三种表示方法。

(1) 绝对湿度 每立方米湿空气中所含水蒸气的质量, 称为绝对湿度。由于湿空气中的水蒸气也充满了湿空气的整个体积, 所以绝对湿度在数值上等于在湿空气的温度和水蒸气的分压力 p_v 下水蒸气的密度 ρ_v , 单位为 kg/m^3 。其定义式为

$$\rho_v = \frac{m_v}{V} \quad (1-6)$$

根据理想气体状态方程, 可得

$$\rho_v = \frac{p_v}{R_{g,v} T} \quad (1-7)$$

式中 $R_{g,v}$ ——水蒸气的气体常数, $R_{g,v} = 461.5 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。

绝对湿度只能说明湿空气中实际所含水蒸气的多少, 而不能说明湿空气的干、湿程度或吸湿能力的大小。为此, 引入了相对湿度的概念。

(2) 相对湿度 湿空气的绝对湿度与同温度下饱和湿空气的绝对湿度之比称为相对

湿度,用符号 φ 表示。其定义式为

$$\varphi = \frac{\rho_v}{\rho_{sa}} \quad (1-8)$$

相对湿度反映了不饱和湿空气接近同温度下饱和湿空气的程度,或湿空气中水蒸气接近饱和状态的程度,因此又称为饱和度。

显然,相对湿度是一个位于 0~1 之间的数值。其大小反映了湿空气的干、湿程度或吸湿能力。 φ 值越小,湿空气越干燥,吸湿能力越强;相反, φ 值越大,湿空气越潮湿,吸湿能力越弱;当 $\varphi=1$ 时,为饱和湿空气,不具有吸湿能力。

根据理想气体状态方程,可得

$$\rho_v = \frac{p_v}{R_{g,v} T}$$

$$\rho_{sa} = \frac{p_{sa}}{R_{g,v} T}$$

于是,有

$$\varphi = \frac{p_v}{p_{sa}} \times 100\% \quad (1-9)$$

由式 (1-9) 可知,在一定温度下,水蒸气的分压力越大,相对湿度也就越大,湿空气越接近饱和湿空气。

(3) 含湿量 在湿空气的处理过程中,往往干空气的质量不发生变化,变化的是水蒸气的质量,因此为了计算方便,常常以 1kg 的干空气为计算标准。为此,引出了含湿量的概念。

含有 1kg 干空气的湿空气中所含有的水蒸气质量称为含湿量或比湿度,它是湿空气中水蒸气的质量 m_v 与干空气的质量 m_a 的比值。用符号 d 表示,单位为 kg/kg (干空气),即

$$d = \frac{m_v}{m_a} \quad (1-10)$$

根据理想气体状态方程,可得 $m_a = \frac{p_a V}{R_{g,a} T}$ 及 $m_v = \frac{p_v V}{R_{g,v} T}$, 代入式 (1-10), 并将 $R_{g,a} = 287 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 和 $R_{g,v} = 461.5 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 代入, 有

$$d = 0.622 \frac{p_v}{p_a} \quad (1-11)$$

若湿空气为大气, 由于 $p_a = p_b - p_v$, 则有

$$d = 0.622 \frac{p_v}{p_b - p_v} \quad (1-12)$$

由式 (1-12) 可知, 当大气压力 p_b 一定时, 含湿量取决于水蒸气的分压力, 因此, 含湿量与水蒸气的分压力不是相互独立的状态参数。

又由于 $p_v = \varphi p_{sa}$, 于是有

$$d = 0.622 \frac{\varphi p_{sa}}{p_b - \varphi p_{sa}} \quad (1-13)$$

由式 (1-13) 可知, 当大气压力 p_b 和湿空气的温度 t 一定时, d 随 φ 增大而增加。

含湿量在热力过程中的变化量 Δd , 表示 1kg 干空气组成的湿空气在热力过程中所含水蒸气质量的改变, 也即湿空气在热力过程中吸收或析出的水分。

1.3.2.5 比焓

在工程上湿空气基本上都是在稳定流动的情况下工作的,而在稳定流动中外界与热力系统的热量交换可用比焓来直接计算,所以比焓是一个很重要的状态参数。知道了湿空气焓的变化量,就可以知道湿空气与外界交换的热量值。

空气的焓值是指空气中含有的总热量,通常以干空气的单位质量为基准,称作比焓,工程上简称焓。空气的比焓是指 1kg 干空气的焓和与它对应的水蒸气的焓的综合,用符号 h 表示,单位是 kJ/kg (干空气)。

在空调工程中,常根据空气处理过程中焓值的变化来判断空气是吸热还是放热。空气中焓值增加,表示空气得到热量;空气中焓值减少,表示空气放出热量。利用这一原理,根据焓值的变化来计算空气在处理前后得到或失去热量的多少。

湿空气的焓等于干空气的焓与水蒸气的焓之和,即

$$H = H_a + H_v = m_a h_a + m_v h_v$$

湿空气的比焓通常也以 1kg 干空气为计算基准,也就是 $(1+d)$ kg 湿空气的焓,仍用 h 表示,单位为 kJ/kg (干空气)。将上式除以 m_a 可得

$$h = h_a + \frac{m_v}{m_a} h_v = h_a + d h_v \quad (1-14)$$

式中 h ——湿空气的比焓, kJ/kg (干空气);

h_a ——干空气的比焓, kJ/kg (干空气);

h_v ——水蒸气的比焓, kJ/kg (水蒸气);

d ——含湿量, kg/kg (干空气)。

在工程中,取 0°C 干空气的焓为零,并且由于湿空气在热力过程中所涉及温度变化范围不大,干空气的定压比热容可取定值,即 $c_p = 1.005 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。这样

$$h_a = c_p \Delta t = 1.005 (t - 0) = 1.005 t \quad (1-15)$$

式中 t ——湿空气的温度,即干球温度, $^\circ\text{C}$ 。

湿空气中水蒸气的比焓值,可以由以下两种方法求取。

(1) 查表法 若已知湿空气的温度 t 以及湿空气中水蒸气的分压力 p_v (如果已知湿空气的压力和湿空气的含湿量,也可以换算出水蒸气的分压力),则由不饱和水与过热水蒸气的热力性质表直接查得在温度为 t 、水蒸气压力为 p_v 的水蒸气的比焓值 h_v 。如当湿空气的温度为 60°C ,湿空气中水蒸气的分压力为 5kPa 的比焓值为 2611.8 kJ/kg。

(2) 公式法 利用查表的方法可以直接、快速地求取一定温度及一定水蒸气分压力下水蒸气的比焓值。如果暂时缺少水蒸气表的相关数据,也可以用公式计算的方法求出湿空气中水蒸气的比焓值。

利用公式计算湿空气中水蒸气的比焓值时,使用水的三相点为基准。当水蒸气的温度为 t (也就是湿空气的温度)时,其比焓值可以通过如下计算途径计算出湿空气中水蒸气的比焓值。

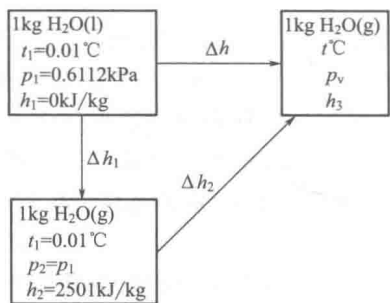
$$\text{因为 } \Delta h = h_3 - h_1 = h_3 - h_2 = \Delta h_1 + \Delta h_2 = 2501 + c'_p (t - t_1) \approx 2501 + c'_p t$$

$$\text{所以 } h_v = 2501 + c'_p t = 2501 + 1.859 t \quad (1-16)$$

式中 2501—— 0.01°C 时水蒸气的比焓值, kJ/kg;

c'_p ——水蒸气在常温、低压下的比定压热容, kJ/(kg · K),在工程计算中常将其作为常数,其数值一般为 1.859,近似计算时可用 1.86。

于是,以 1kg 干空气为计算基准的湿空气的比焓为



$$h = 1.005t + d(2501 + 1.859t) \quad (1-17)$$

1.3.3 几种在空调工程中的常用温度

在空调工程中，常用的温度包括前面已经介绍到的干球温度、湿球温度、露点温度。此外，还有一种常用温度为“机器露点温度”。该温度与空气的露点温度有所区别。它是指人为地对空气加湿或除湿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”；经过喷水处理的空气比较接近于 $\varphi=1$ 状态，习惯上将其状态称为“机器露点”。

1.4 湿空气焓湿图

在工程计算中，应用公式较为麻烦。为方便分析和计算，工程中常采用根据湿空气状态参数间的关系绘制成的焓湿图。利用焓湿图可以很方便地确定湿空气的状态参数，分析计算湿空气的热力过程。

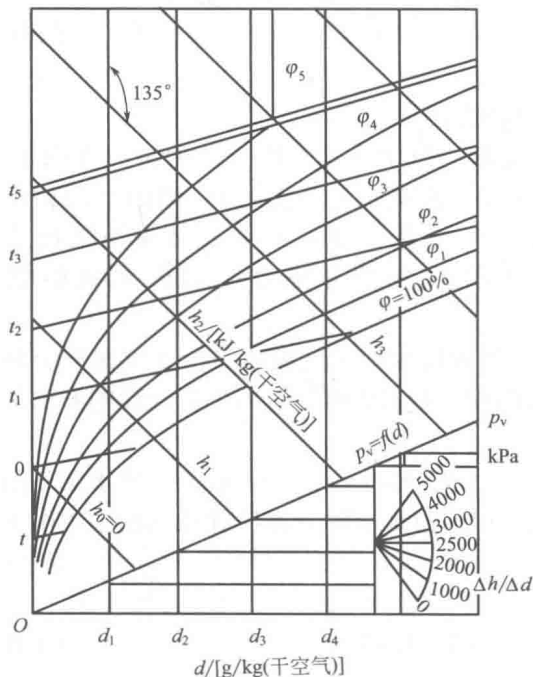


图 1-3 湿空气的焓湿图

在一定大气压力 p_b 下，以湿空气的焓和含湿量的计算公式为基础，以 1kg 的干空气组成的湿空气为基准，分别以焓 h 和含湿量 d 为纵、横坐标绘制成湿空气状态坐标图，称为焓湿图 ($h-d$ 图)。在焓湿图中绘出了湿空气的比焓、含湿量、温度、相对湿度、水蒸气分压力等主要参数的定值线簇，如图 1-3 所示。

1.4.1 焓湿图的组成

如图 1-3 所示，为使图线清晰，采用了两坐标夹角为 135° 的坐标系，图中共有下列五种线簇。

(1) 定含湿量线 定含湿量线是一组与纵坐标轴平行的直线，其数值在辅助横轴上读出（下方水平轴上，也有的在上方水平轴上）。从纵轴为 $d=0$ 的定含湿量线开始，自左向右含湿量值逐渐增加。

(2) 定焓线 定焓线是一组与纵坐标轴成 135° 角（与横坐标轴平行）的直线。

即图 1-3 中从左至右下方的斜线。在同一条定焓线上的不同点所代表的湿空气的状态尽