

房间空调器的原理和安装维修

周子成 编著



机械工业出版社

房间空调器的原理和安装维修

周子成 编著



机械工业出版社

本书比较通俗、全面、系统地介绍了房间空调器的种类、工作原理、选用原则、安装、使用、维护保养、故障诊断和修理方法,以及有关空调器性能检测和安全知识。提供了选型、使用、维修中的实验数据和图表,如国产和进口空调压缩机的性能和规格,国产和进口房间空调器的详细参数和规格等。

本书是广大空调器用户的自学参考书,也是房间空调器的安装、维修、销售人员以及空调器生产厂的工人和工程技术人员提高专业水平的自学参考书,并可作为培训教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

房间空调器的原理和安装维修/周子成编著. —北京:机械工业出版社, 1997. 6

ISBN 7-111-05445-8

I. 房… II. 周… III. 房屋建筑设备-空气调节器-基本知识
IV. TU831.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 24005 号

出 版 人: 马九荣 (北京市百万庄南街 1 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 蒋有彩 版式设计: 张世琴 责任校对: 罗文莉

封面设计: 郭景云 责任印制: 卢子祥

机械工业出版社京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1997 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·19.75 印张·479 千字

0 001—8 500 册

定价: 26.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

序

当前,我国正处在房间空调器普及到家庭的时代。不同型式、功能和价格的空调器充满市场,琳满目,使人眼花缭乱。

作为房间空调器的用户,需懂得如何去选购货真价实的空调器。

作为空调器制造厂的广大工人和技术人员,需懂得如何去制造出优质的空调器,如何去改进和提高现有空调器的性能和质量,增强产品的市场竞争力。

作为空调器的营销、售后服务人员和维修网点安装、维修队伍,应懂得如何正确介绍空调器的性能、特点和操作使用方法,如何保证安装质量,迅速分析和排除故障,急用户之所急。

房间空调器是一种高服务含量的产品,尤其是分体式空调器。它不象彩电、冰箱那样从商店买回来,插上电源就可以使用。房间空调器从商店里买回后,必须经过安装才能使用。可以说,空调器的安装是空调器生产厂工序的延续。是生产空调器的最后一道工序。这最后一道工序,一般都是由社会上的专业空调服务网点完成。例如,华宝空调的安装、保养和维修服务,是由广东华宝空调器厂认可的全国 900 多个特约安装维修点来完成的。

为了提高华宝特约服务网点的服务质量,华宝空调器厂每年都进行全国性巡回培训。培训的内容涉及到顾客满意的工作理念、专业技术、管理基础和服务策略等多个方面。其中专业技术是优质服务的重要基础。基于这个认识,早在 1994 年,我担任华宝空调器厂副厂长主抓华宝售后服务工作时,就意识到应编写一本关于“空调器原理及安装维修技术”的书籍。一方面,作为基础性的资料供网点学习及参考,提高网点服务水平;另一方面,为社会上对于空调感兴趣的人士提供一份可供借鉴及参考的资料。这个想法,经与本厂研究所副所长周子成高级工程师商量,大家都不约而同获得共识。

周子成先生是西安交通大学制冷系兼职教授,中国著名的制冷专家。他不仅具有系统的制冷理论知识,而且在华宝空调器厂工作多年,有丰富的实践经验,并与美国、日本的空调技术专家有密切的联系和交流。在与周先生共事的过程中,深深体会到他的专业理论及实践水平。周先生用两年多的辛勤劳动,出版了房间空调器的原理和安装维修一书,把多年工作经验及理论认识传于社会,是周先生的,也是华宝空调器厂对社会的一份贡献。更体现了华宝空调追求 100% 顾客满意的决心。专业技术是优质服务的基础,此书有助于网点提高专业技术,必然有助于顾客获得更优异的服务。

胡启志

1996 年 5 月

目 录

序	
前言	
绪论	1
第一章 空气调节基础知识	7
第一节 温度、压力、湿度、密度和 比热容	7
第二节 热力学第一定律和焓	11
第三节 热力学第二定律和熵	13
第四节 传热	14
第五节 湿空气的焓湿图	17
第二章 制冷循环	22
第一节 概述	22
第二节 制冷剂的压焓图	23
第三节 房间空调器的理论制冷循环	24
第四节 回热循环	26
第五节 变工况特性	29
第六节 空调压缩机和空调器的工况	31
第七节 热泵循环	33
第八节 变频空调器循环	35
第九节 一台室外机和多台室内机 的循环	36
第十节 蓄热循环	39
第十一节 煤气供热循环	41
第十二节 房间空调器中使用的制冷剂	43
第三章 房间空调器用压缩机	48
第一节 房间空调器用容积式压缩机的 工作原理	48
第二节 滚动活塞式压缩机的结构及 性能参数	54
第三节 涡旋式压缩机的结构及 性能参数	72
第四节 往复活塞式压缩机的结构	74
第五节 变频压缩机	76
第四章 房间空调器用蒸发器、冷凝 器和辅助设备	81
第一节 蒸发器的的工作原理	81
第二节 蒸发器的结构参数	83
第三节 房间空调器用蒸发器的传热 计算	90
第四节 冷凝器的工作原理	95
第五节 冷凝器的结构参数	97
第六节 房间空调器用风冷冷凝器 的传热计算	99
第七节 毛细管	101
第八节 热力膨胀阀	105
第九节 电子膨胀阀	109
第十节 四通换向阀	112
第十一节 贯流风机、轴流风机和离心 风机	114
第十二节 空气过滤器、静电除尘器 和空气净化器	117
第五章 房间空调器的电动机、遥控 器和控制	119
第一节 交流电动机	119
第二节 直流电动机	120
第三节 变频电动机	121
第四节 控制电动机	121
第五节 遥控器	122
第六节 房间空调器的运转方式和 功能	129
第七节 模糊控制	131
第八节 神经网络控制	135
第九节 探测房间内人活动量的传感器	137
第六章 房间空调器的总体结构、操作 方法和规格参数	140
第一节 房间空调器的总体结构	140
第二节 窗式空调器的操作	147
第三节 非变频分体挂壁式空调器 的操作	148
第四节 变频式分体挂壁空调器的操作	170
第五节 柜式空调器的操作	182
第六节 房间空调器的性能参数	188
第七章 房间空调器的安装	229

第一节	窗式空调器的安装	229	第三节	制冷剂钢瓶的贮放安全	280
第二节	分体式空调器的安装	233	第四节	制冷系统检漏和压力试验时的安全	280
第三节	柜式空调器的安装	242	第五节	制冷剂使用的安全	280
第八章	房间空调器的使用保养和故障排除	247	第六节	使用氧气焊接及气割设备的安全	280
第一节	房间空调器的正确使用和维护保养	247	第七节	电气安全	281
第二节	电源故障	252	第十一章	房间空调器的性能检测	282
第三节	压缩机故障	253	第一节	试验方法分类	282
第四节	电动机故障	256	第二节	分体式空调器的性能和电气安全指标	282
第五节	继电器、电容器和变压器的故障	257	第三节	制冷量和制热量直接法测定的试验装置	291
第六节	制冷剂管路故障	257	第四节	直接法测量制冷量和制热量的试验方法	292
第七节	室内风机和室外风机及继电器故障	258	第五节	直接测量法试验的制冷量和制热量计算	294
第八节	毛细管和膨胀阀故障	258	第六节	制冷量和制热量间接法测定的试验装置	295
第九节	换向阀故障	259	第七节	空气焓差法的试验方法	295
第十节	房间空调器整机故障分析和排除措施	261	第八节	空气焓差法的制冷量和制热量计算	297
第九章	房间空调器的修理	269	附录		300
第一节	常用的维修工具	269	附表	R22 饱和状态下的热力性质	300
第二节	双压力计多路阀的使用	270	附图 1	湿空气焓-湿图之一 (大气压力 99325Pa)	304
第三节	排除系统内的空气、抽真空、充氟利昂操作	272	附图 2	湿空气焓-湿图之二 (大气压力 101325Pa)	305
第四节	氟利昂气体泄漏的检查	274	附图 3	R22 的压焓图	306
第五节	充注润滑油	276	参考文献		307
第六节	房间空调器修理后的试运转	277			
第十章	安全知识	279			
第一节	空调器使用的安全规则	279			
第二节	维修过程中的人身安全	279			

绪 论

房间空调器是一种用于向房间（或封闭空间、区域）提供处理空气的机组。它的功能是使该房间（或封闭空间、区域）内空气的温度、湿度、洁净度和空气流速等参数保持在人体舒适或工艺过程要求的范围内。

房间空调器主要是一个制冷、除湿（有的还可兼作热泵使用）的机组。根据需要，它还可以包含空气加热、加湿、空气循环通风、空气净化、除臭、加香等设备。通常，空调器有整体式（即一个箱形整体）和分体式（分为室内机组和室外机组）两类。根据室内机组结构和安装方式的不同，它们又可分成如图 0-1 所示的窗式、挂壁式、吊顶式、埋入式、嵌入式、柜式及落地式。

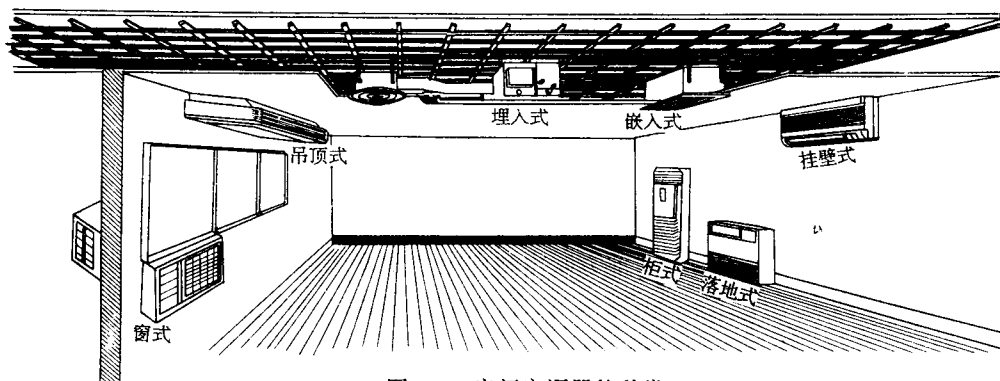


图 0-1 房间空调器的种类

1. 窗式空调器

窗式空调器是一种整体式空调器，它的所有零部件都装在一个箱形壳体内，通常是穿过房屋的窗户或墙壁安装。露在室内的部分主要是向房间提供符合要求的空气，在夏季提供冷空气，使室内降温。在冬季提供热空气，使室内变暖。此外，在该部分的面板上还设有供使用者手动操作的开关、旋钮，或者是使用遥控器操作的遥控信号接收系统。伸出窗外或墙外的部分，主要是向室外大气放出热量（夏季）或吸收热量（冬季）。窗式空调器根据面板高度与宽度的尺寸比例又有普通型（高度与宽度之比不超过 2）和立式（高度与宽度之比大于 2）两种。

2. 挂壁式空调器

挂壁式空调器是分体式空调器的一种，其室内机组悬挂在空调房间内的墙壁上，向房间提供符合要求的空气。室外机安装在室外的屋顶、墙壁、阳台或地面等处，向室外大气放热（夏季）或吸热（冬季）。室内机和室外机的制冷系统用铜管连接起来，组成循环回路。常见的挂壁式空调机有单室内机组和多室内机组两种。单室内机组是指一台室外机配有一台室内机，组成一台分体挂壁式空调器。多室内机组是指一台室外机和多台室内机（二台、三台等）组成一台分体挂壁式空调器，也可通俗地称它们为“一拖二”，“一拖三”…的空调器。这种空调器的操作方式有线控和遥控两种。

3. 吊顶式空调器

吊顶式空调器也是分体式空调器的一种，其室内机组悬吊在天花板下的墙上，顶部与天花板紧贴。工作时向房间提供符合要求的空气。室外机组的结构形式及安装方式和挂壁式空调器基本相同。这种空调机室内机组里的风机功率较大，能使处理空气吹得较远，因此适用于吹出方向距离大的房间使用。操作方式多数是线控操作。

4. 天花板嵌入式空调器

天花板嵌入式空调器也是分体式空调器的一种，其室内机组嵌入天花板内，只有进、出风口露出在天花板外。根据处理空气吹出方向的不同，分为一方向吹出、两方向吹出、三方向吹出和四方向吹出等四种。室外机组的结构和安装方式与挂壁式和吊顶式相同，并且也可以用一台室外机组和多台室内机组组成空调器。这种空调器室内送风均匀、室内装饰性好。

5. 天花板埋入式空调器

天花板埋入式空调器也是分体式空调器的一种。其室内机组埋入天花板内，只有进、出风口露出在天花板外。与天花板嵌入式室内机组不同之处，是在天花板建造以前，已先将室内机安装好。而天花板嵌入式空调器是在天花板建造以后再安装的。天花板埋入式空调器的进风口和出风口可以分别设置得较远，它们和室内机主体之间用风管连接。因此，可以合理地组织房间内的气流。这种室内机组往往带有加湿器，因而可以控制空调房间内的空气湿度。这种空调器的室外机也和其他型式的分体空调器类同。

6. 落地式空调器

落地式空调器也是分体式空调器的一种。它的室内机组直接安放在房间内的地面上，通常是靠墙安放。空气吹出的方向有向前方吹出和向上方吹出两种。这种室内机安装和检修都比较方便，对墙壁和天花板均没有破坏作用。这种空调器的室外机也和其他分体式空调器类似。

7. 柜式空调器

柜式空调器有整体式和分体式两种。整体柜式空调器向房间提供符合要求的空气，在夏季提供冷空气，在冬季提供热空气。它与室外环境之间通过水进行热交换，在夏季水将热量放给环境，在冬季水向环境吸热，再传给空调器。分体柜式空调器也由室内机组和室外机组两部分组成。室外机组和其他分体式空调器类似。室内机直接安放在地面上，与落地式空调器的室内机组相似。但高度方向的尺寸比宽度方向的尺寸大得多。

房间空调器又可按其用途和功能的不同，分为单冷型和冷暖型两类。

单冷型房间空调器只有制冷（使房间降温）功能，没有供暖（使房间升温）功能。但可以兼有除湿功能。

冷暖型房间空调器可以根据用户的操作，使其具有制冷功能（用于夏季使房间降温）和供暖功能（用于冬季使房间升温）。根据供暖方式的不同，又可分为热泵型、电热型及热泵辅助电热型三种。

(1) 热泵型房间空调器 这种空调器的制冷系统按照热泵方式运行，室外机组从室外环境吸取低温热量，室内机组向空调房间放出热量，使房间升温。具体工作原理见第二章。

(2) 电热型房间空调器 当空调器供暖时，停止制冷系统的运转。依靠电加热器将空气加热，并送到空调房间里。

(3) 热泵辅助电热型空调器 当空调器供暖时，热泵系统和电加热系统同时工作。这时，

热泵系统起主要供热作用。电加热器起辅助供热作用。当室外环境温度较高时，如果仅依靠热泵产生的热量已够房间需要，则电加热器可以停止工作。

我国国家标准 GB/T 7725—1996《房间空气调节器》对空调器的型号表示方法规定如下：

1. 空调器按使用气候环境（最高温度）分

类型	气候环境最高温度
T1	43℃
T2	35℃
T3	52℃

2. 空调器按结构形式分

a) 整体式，其代号 C。整体式空调器结构分类为窗式（其代号省略）、穿墙式、移动式等，其代号分别为 C、Y 等。

b) 分体式，其代号 F。分体式空调器分为室内机组和室外机组。室内机组结构分类为吊顶式、挂壁式、落地式、天井式、嵌入式等，其代号分别为 D、G、L、T、Q 等，室外机组代号为 W。

3. 空调器按主要功能分

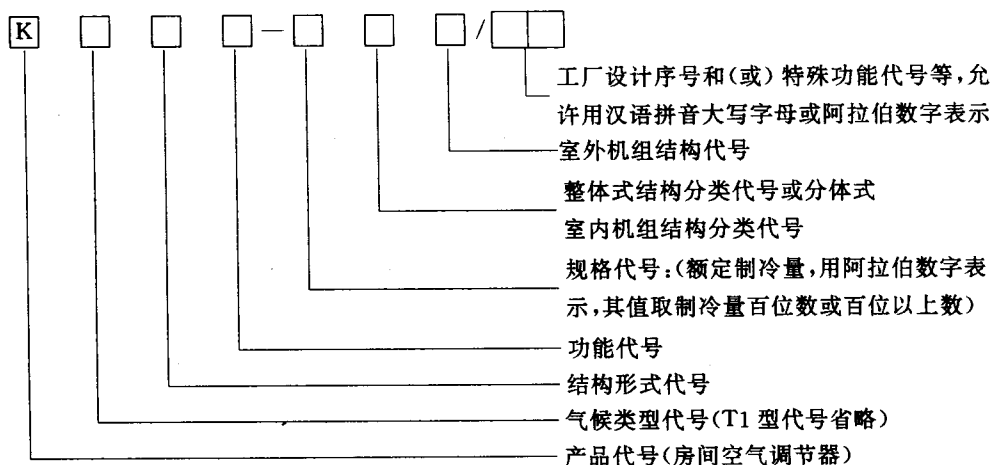
a) 冷风型，其代号省略（制冷专用）。

b) 热泵型，其代号 R（包括制冷、热泵制热，制冷、热泵与辅助电热装置一起制热，制冷、热泵和以转换电热装置与热泵一起使用的辅助电热装置制热）。

c) 电热型，其代号 D（制冷、电热装置制热）。

4. 型号命名

产品型号及含义如下：



5. 型号示例

例 1 KT3C—35/A：表示 T3 气候类型、整体（窗式）冷风型房间空调器，额定制冷量为 3500W，第一次改型设计。

例 2 KC—22C：表示 T1 气候类型、整体穿墙式冷风型房间空调器，额定制冷量为 2200W。

例 3 KFR—28GW：表示 T1 气候类型、分体热泵型挂壁式房间空调器（包括室内机组和室外机组），额定制冷量为 2800W。

KFR—28G：表示 T1 气候类型、分体热泵型挂壁式房间空调器室内机组，额定制冷量为 2800W。

KFR—28W：表示 T1 气候类型、分体热泵型房间空调器室外机组，额定制冷量为 2800W。

例 4 KFR—35LW/BP：表示 T1 气候类型、分体热泵型落地式变频房间空调器（包括室内机组和室外机组），额定制冷量为 3500W。

KFR—35L/BP：表示 T1 气候类型、分体热泵型落地式变频房间空调器室内机组，额定制冷量为 3500W。

KFR—35W/BP：表示 T1 气候类型、分体热泵型变频房间空调器室外机组，额定制冷量为 3500W。

空气调节的发展历史，就是人类改造自然的历史的一个组成部分。它又和制冷技术的发展历史紧密地联系在一起。

几千年以前的古代，我国燧人氏钻木取火，开始了供暖的雏形。古代埃及奴隶用棕榈枝编的扇子替奴隶主扇风和我国古代皇宫中奴婢替帝王、大臣扇风都是通风的雏形。到了 15 世纪末期，意大利著名科学家利奥纳多·达·芬奇 (Leonardo da Vinci) 制造出一个水轮机驱动的风机，开创了机械通风的先导。1844 年，美国佛罗里达州阿帕拉契可拉的海军医院院长约翰·戈里 (John Gorrie) 叙述了他发明的制冷机，并于 1851 年获得了美国专利 No. 8080。这是世界上第一台商业用的制冷和空调机。到了 20 世纪，被美国人称为“空调之父”的维里斯·赫·开利 (Willis H. Carrier)，对空调的发展作出了卓越的贡献。1902 年他设计和安装了彩色印刷厂的全年空调系统。1911 年，他提出了空气物性的划时代的论文。他所提出的空气物性参数的计算公式，是绘制空气焓湿图的基础。1922 年，他发明了空调用离心式制冷机。1937 年，他又发明了空气-水诱导器装置。

最早使用舒适性空调是在 1920 年左右。当时美国纽约泰晤士广场的几家著名的动画片剧院，首先安装了空气调节装置。1920 年以后，全美国几百家影剧院都装了空调系统。

1930 年左右，我国上海有几家纺织厂、电影院、银行和宾馆开始安装了空气调节装置。到了 1937 年，因爆发战争，使刚起步的空调工业又停滞不前。

我国第一台房间空调器是 1963 年在上海冰箱厂诞生的。1970 年左右，江苏太仓冷气机厂、天津医疗器械厂、江苏泰州制冷设备厂和南京九二四厂等先后试制出房间空调器。但当时由于我国人民生活水平低，购买力弱，使空调器工业发展缓慢，生产规模不大。

改革开放以来，随着经济的不断增长和人民生活水平的不断提高，作为满足人民生活“舒适”为主要目的的房间空调器，已成为我国居民家庭继电冰箱、洗衣机、彩电、录像机之后的主要购置对象。根据 1991 年对全国 15 个代表性城市的调查，居民家庭购买的房间空调器占当年总销售量的比例，1989 年为 50%，1990 年为 53%，1991 年为 74%。另一方面，我国空调器的普及率还很低。1991 年我国空调器的城镇普及率为 6.25%，而全国的普及率仅为 0.71%，相比于世界各国空调器的普及率，如美国约 80%，日本约 60%，香港、台湾、东南亚约 30%，差距很大。图 0-2 列出了我国历年空调器的产量情况。

近年来，日本生产的房间空调器，无论在产量上或是在质量、品种上，都居世界领先地位。产品节能性好，舒适性好，采用人工智能控制，能根据温度、湿度、气流速度、热辐射、穿衣量和人的活动量进行最佳控制。噪声低、室内装饰性好，具有空气净化、除臭、换气、加香、防霉等多种功能。1982 年在世界上首先生产出变频空调器，到目前已在空调器中占主导

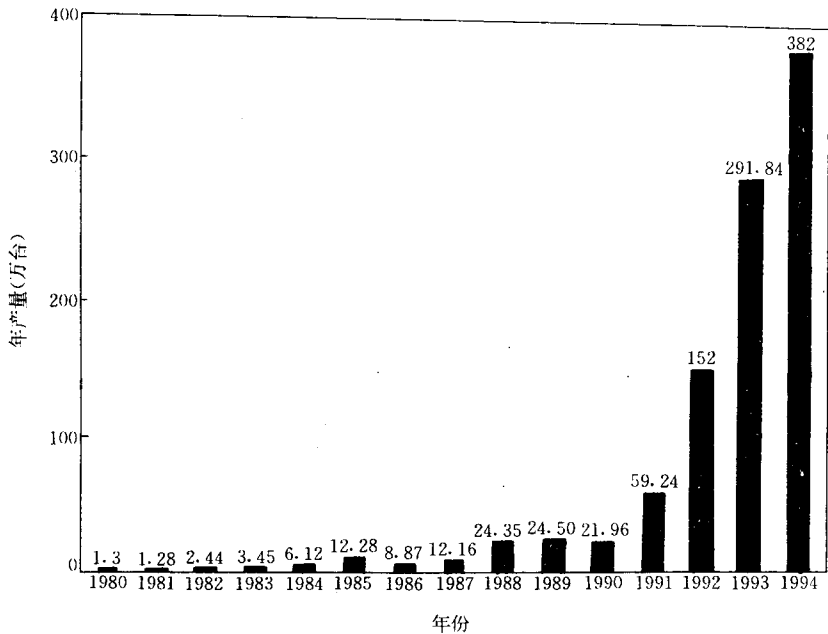


图 0-2 我国历年房间空调器的产量

地位。空调压缩机也已从单转子的滚动活塞式发展到双转子的滚动活塞式。涡旋式压缩机已在部分房间空调器中使用。这些都使房间空调器提高到一个新的水平。图 0-3 表示了日本历年房间空调器的市场销售量。

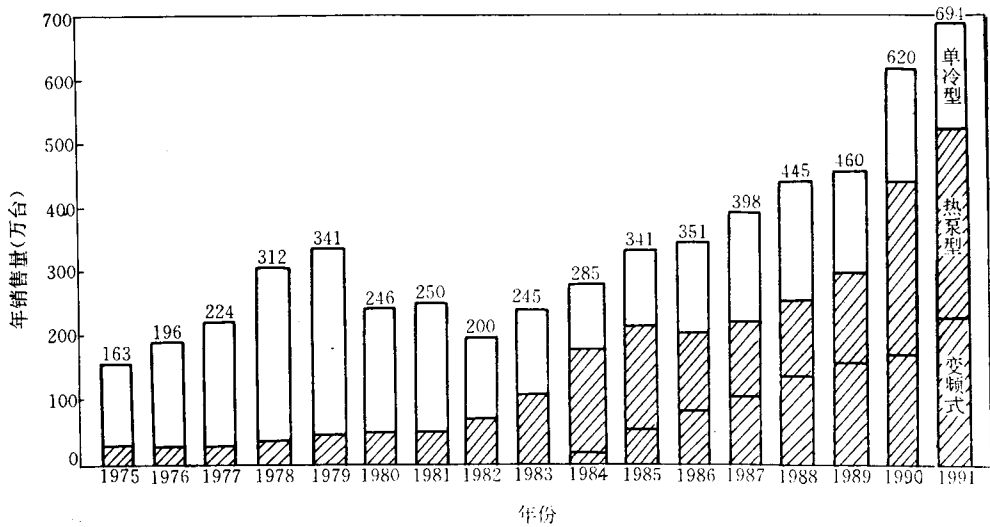


图 0-3 日本历年房间空调器的市场销售量

图 0-4 表示了全世界房间空调器的主要市场销售量。可以看出，日本已成为销售量最大的地区，1991 年已达到 800 多万台。北美洲为其次，1991 年为 660 万台左右。再其次是东南亚（包括中国）、中近东和欧洲。1991 年全世界总计约 2200 万台。

房间空调器作为家庭的一种日用机电用品，其质量必然会受到国家的监督。我国国家技

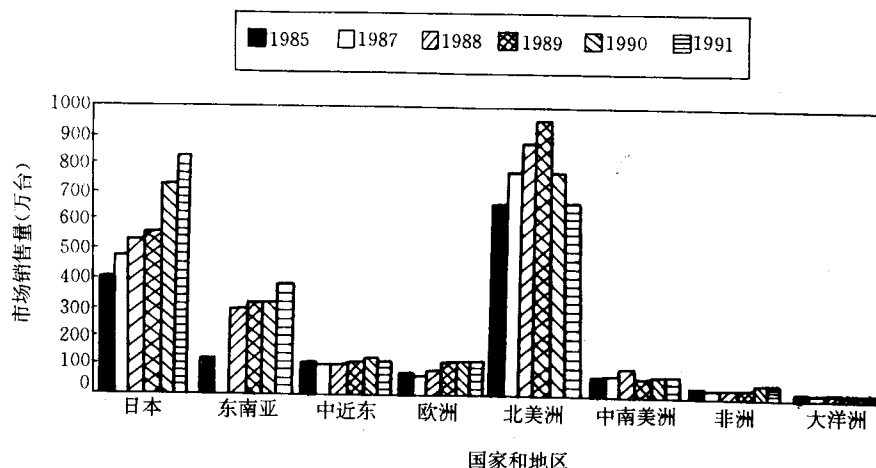


图 0-4 全世界房间空调器的市场销售量

术监督局和质量监督检验中心, 挂靠在北京家用电器研究所的国家家用电器质量监督检验测试中心、挂靠在广州电器科学研究所的国家日用电器质量监督检验测试中心、挂靠在中国建筑科学研究院空调研究所的国家空调设备质量监督检验测试中心、挂在机电部合肥通用机械研究所的空调器试验室, 都是房间空调器的检测机构。在国外, 如美国 E. T. L. (美国电气试验室), 日本冷冻空调工业会机器性能检定所等, 都是房间空调器性能检测的权威机构。

此外, 各国还对房间空调器制订了有关标准, 作为考核产品的依据。其中重要的标准有如下几种:

- 1) 中国国家标准 GB/T7725—1996 房间空气调节器。
- 2) 中国国家标准 GB4706. 32—1996 家用和类似用途电器的安全 热泵、空调器和除湿机的特殊要求。
- 3) 国际标准 ISO R859—1992 房间空气调节器。
- 4) 日本工业标准 JIS C 9612—1989 房间空气调节器。
- 5) 国际电工委员会标准 IEC 378 房间空调器电气设备的安全要求。
- 6) 美国国家标准/美国家用设备制造者协会标准 ANSI/AHAM RAC—1—1982 房间空气调节器。
- 7) 美国国家标准/美国供暖、制冷和空调工程师协会标准 ANSI/ASHRAE 16—1983 房间空调器和终端机组空调器。

第一章 空气调节基础知识

空气调节是依靠人工产生的技术手段,对某一特定空间内的空气的温度、湿度、流动速度和洁净度进行调节,达到并保持在人体舒适需要的或工艺过程需要的参数。

实现这种技术手段的机械设备有许多种。大的称为空调装置或空调机,小的称为空调器。与房间空调器有关的基础知识,有物理的、热学的、力学的、机械的、电工和电子的以及计算机硬件和软件的等。本章只叙述物理的、热力学和传热学方面的基础知识。

第一节 温度、压力、湿度、密度和比热容

温度、压力、湿度、密度和比热容都是用来描述物质所处状态的宏观物理量,称为状态参数。

一、温度

温度表示物质冷热的程度。从分子运动的角度看,它是物质分子热运动激烈程度的量度,对于气体,它是分子平均移动动能的量度。

在我国法定计量单位中,温度有热力学温度和摄氏温度两种。热力学温度的单位名称为开[尔文],单位符号为K。热力学温度单位开[尔文]是水的三相点热力学温度的 $1/273.16$,即

$$1\text{K} = \frac{1}{273.16} T_r \quad (1-1)$$

式中, T_r 为水三相点的热力学温度,为常量。

摄氏温度的单位名称为摄氏度,单位符号为 $^{\circ}\text{C}$ 。它是开尔文用于表示摄氏温度值的一个专门名称。

热力学温度单位的分隔或温差 ΔT 和摄氏温度单位的分隔或温差 Δt 是相同的。既可用K,也可用 $^{\circ}\text{C}$ 表示。

摄氏温度 t 和热力学温度 T 之间的数值关系式为

$$t = T - 273.15 \quad (1-2)$$

二、压力

压力是力 F 除以力所作用的面积 A 。在法定计量单位中,压力的符号用 p 表示,单位名称为帕[斯卡],单位符号为Pa。一帕[斯卡]是一牛[顿]的力均匀而垂直地作用在一平方米面积上所产生的压力。

$$p = \frac{F}{A} \quad (1-3)$$

在实用上,Pa的值太小,故常用千帕(kPa)或兆帕(MPa)作单位。

在房间空调器的样本、说明书中,还会遇到一些非国际单位和非法定计量单位的压力单位,它们的换算关系如下:

$$1 \text{ lbf/in} = 6894.757 \text{ Pa}$$

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

$$1 \text{ kgf/m}^2 = 9.80665 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Torr} = 133.3224 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ mmHg} = 9.80665 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ mmHg} = 13.5951 \text{ mmHg}_2\text{O} = 133.3224 \text{ Pa}$$

压力的测量通常使用弹簧管压力计。图 1-1a 是用弹簧管压力计测量压力的情形。弹簧管外受到的是环境压力 p_{amb} ，弹簧管的变形传到表盘指针指示出的是表压力 p_e 。弹簧管内被测的真实压力称为绝对压力 p_{abs} 。它们之间的关系是

$$\text{绝对压力 } p_{\text{abs}} = \text{表压力 } p_e + \text{环境压力 } p_{\text{amb}} \quad (1-4)$$

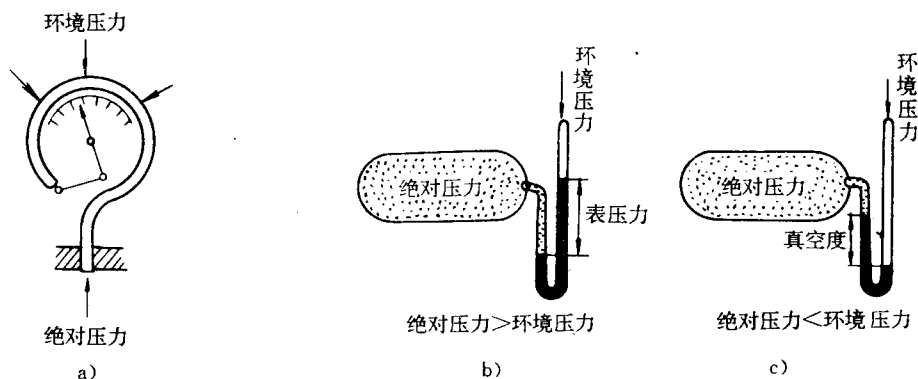


图 1-1 环境压力、表压力、绝对压力和真空度间的关系

a) 用弹簧管压力计测量压力的原理 b) 表压力 c) 真空度

当被测的绝对压力比环境压力小时，式 (1-4) 中表压力为负值。这时，只取其绝对值（去掉负号），称为真空度 H 。见图 1-1c。即

$$\text{绝对压力 } p_{\text{abs}} = \text{环境压力 } p_{\text{amb}} - \text{真空度 } H \quad (1-5)$$

三、湿度

湿度表示空气中所含水蒸气的多少。通常有下列三种表示方式。

1. 绝对湿度 z

单位容积 V 的湿空气中含有水蒸气的质量 m_q ，称为绝对湿度。用符号 z 表示。单位为 kg/m^3 。

$$z = \frac{m_q}{V} \quad (1-6)$$

2. 含湿量 χ (或 d)

湿空气中与 1kg 干空气同时并存的水蒸气质量，称为含湿量。

$$\chi = \frac{m_q}{m_g} \quad (\text{kg/kg}) \quad (1-7)$$

通常在空气中所含的水蒸气数量很小，因此用下列单位更为方便。

$$d = \frac{m_q}{m_g} \quad (\text{g/kg}) \quad (1-8)$$

显然, $d=1000\chi$

式 (1-8) 中 m_q ——水蒸气的质量 (g);

m_g ——干空气的质量 (kg)。

若将干空气和水蒸气都视作理想气体, 则可导出下列关系式

$$\chi = 0.622 \frac{p_q}{p_g} \quad (\text{kg/kg}) \quad (1-9)$$

$$d = 622 \frac{p_q}{p_g} \quad (\text{g/kg}) \quad (1-10)$$

式中 p_q ——水蒸气分压力;

p_g ——干空气分压力。

由于环境压力 p_{amb} 等于其中的水蒸气分压力 p_q 和干空气分压力 p_g 之和, 因此

$$\chi = 0.622 \frac{p_q}{p_{\text{amb}} - p_q} \quad (1-11)$$

$$d = 622 \frac{p_q}{p_{\text{amb}} - p_q} \quad (1-12)$$

3. 相对湿度 φ

湿空气中水蒸气的分压力 p_q 和相同温度下饱和空气中的水蒸气分压力 $p_{q\text{sat}}$ 之比, 称为相对湿度。

$$\varphi = \frac{p_q}{p_{q\text{sat}}} \times 100 \quad (\%) \quad (1-13)$$

相对湿度表征了湿空气中水蒸气含量接近饱和含量的程度。 $\varphi=0\%$ 的空气代表干空气。 $\varphi=100\%$ 的空气代表饱和湿空气。

根据湿空气和饱和空气含湿量的表达式, 可求得

$$\varphi = \frac{\chi}{\chi_{\text{sat}}} \frac{p_{\text{amb}} - p_q}{p_{\text{amb}} - p_{q\text{sat}}} \times 100 = \frac{d}{d_{\text{sat}}} \frac{p_{\text{amb}} - p_q}{p_{\text{amb}} - p_{q\text{sat}}} \times 100 \quad (\%) \quad (1-14)$$

式中, χ_{sat} 和 d_{sat} 分别表示以 kg/kg 和 g/kg 为单位的饱和空气含湿量。

在工程计算中, 允许误差在 3% 范围内, 式 (1-14)、式 (1-11) 和式 (1-12) 可分别用下列三式代替

$$\varphi = \frac{\chi}{\chi_{\text{sat}}} \times 100 = \frac{d}{d_{\text{sat}}} \times 100 \quad (\%) \quad (1-15)$$

$$\chi = 0.622 \frac{\varphi p_{q\text{sat}}}{p_{\text{amb}} - \varphi p_{q\text{sat}}} \quad (1-16)$$

$$d = 622 \frac{\varphi p_{q\text{sat}}}{p_{\text{amb}} - \varphi p_{q\text{sat}}} \quad (1-17)$$

表 1-1 列出了环境压力为 101325Pa 时, 饱和空气的水蒸气分压力 $p_{q\text{sat}}$ 及饱和空气含湿量随温度的变化关系。

四、密度

密度也称为体积质量, 是质量除以体积。用符号 ρ 表示。单位名称为千克每立方米, 单位符号为 kg/m³。

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (1-18)$$

表 1-1 饱和空气的水蒸气分压力 p_{qsat} 和饱和空气含湿量的值
(环境压力为 101325Pa)

t (°C)	p_{qsat} (100Pa)	d_{sat} (g/kg)	t (°C)	p_{qsat} (100Pa)	d_{sat} (g/kg)	t (°C)	p_{qsat} (100Pa)	d_{sat} (g/kg)
-20	1.03	0.64	14	15.99	10.01	48	111.76	77.56
-19	1.13	0.70	15	17.06	10.69	49	117.51	82.08
-18	1.25	0.77	16	18.18	11.41	50	123.50	86.86
-17	1.37	0.85	17	19.38	12.18	51	129.76	91.92
-16	1.51	0.93	18	20.64	12.99	52	136.29	97.27
-15	1.65	1.02	19	21.98	13.85	53	143.11	102.95
-14	1.81	1.11	20	23.39	14.76	54	150.21	108.95
-13	1.99	1.22	21	24.88	15.72	55	157.60	115.32
-12	2.17	1.34	22	26.45	16.74	56	165.31	122.08
-11	2.38	1.47	23	28.11	17.82	57	173.33	129.24
-10	2.60	1.60	24	29.86	18.96	58	181.69	136.85
-9	2.84	1.75	25	31.69	20.17	59	190.39	144.94
-8	3.10	1.91	26	33.63	21.45	60	190.44	153.54
-7	3.38	2.09	27	35.67	22.80	61	208.86	162.69
-6	3.69	2.28	28	37.82	24.23	62	218.65	172.44
-5	4.02	2.49	29	40.08	25.73	63	228.82	182.84
-4	4.38	2.71	30	42.46	27.32	64	239.41	193.93
-3	4.76	2.95	31	44.96	29.01	65	250.40	205.79
-2	5.18	3.20	32	47.59	30.79	66	261.81	218.48
-1	5.63	3.49	33	50.35	32.67	67	273.66	232.07
0	6.11	3.79	34	53.24	34.66	68	285.97	246.64
1	6.57	4.08	35	56.28	36.76	69	298.74	262.31
2	7.06	4.38	36	59.47	38.91	70	311.99	279.16
3	7.58	4.71	37	62.81	41.31	71	325.73	297.34
4	8.14	5.05	38	66.32	43.78	72	339.98	316.98
5	8.73	5.42	39	69.99	46.39	73	354.76	338.24
6	9.35	5.81	40	73.84	49.14	74	370.06	361.30
7	10.02	6.24	41	77.87	52.05	75	385.94	386.41
8	10.73	6.68	42	82.08	55.12	76	402.37	413.77
9	11.48	7.16	43	86.49	58.37	77	419.39	443.72
10	12.28	7.66	44	91.11	61.79	78	437.02	476.63
11	13.13	8.20	45	95.94	65.41	79	455.25	512.84
12	14.03	8.77	46	100.98	69.24	80	474.14	552.95
13	14.98	9.37	47	106.63	73.28	81	493.67	597.51

(续)

t (°C)	p_{sat} (100Pa)	d_{sat} (g/kg)	t (°C)	p_{sat} (100Pa)	d_{sat} (g/kg)	t (°C)	p_{sat} (100Pa)	d_{sat} (g/kg)
82	513.86	647.24	85	578.66	838.12	88	650.17	1128.00
83	534.75	703.11	86	601.73	920.62	89	675.58	1260.64
84	556.34	766.24	87	625.54	1016.11	90	701.82	1420.31

密度的倒数是比体积，也称为质量体积。用符号 v 表示。

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} \quad (\text{m}^3/\text{kg}) \quad (1-19)$$

五、比热容

当一系统由于加给一微小的热量 δQ 而温度升高 dT 时， $\delta Q/dT$ 这个量即是热容。用符号 C 表示。单位名称为焦 [耳] 每开 [尔文]，单位符号为 J/K。

即

$$C = \frac{\delta Q}{dT} \quad (\text{J/K}) \quad (1-20)$$

比热容又称质量热容，是热容除以质量。用符号 c 表示。单位名称为焦 [耳] 每千克开 [尔文]。单位符号是 J/(kg · K)。

$$c = \frac{C}{m} \quad [\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})] \quad (1-21)$$

压力不变时的比热容称为比定压热容，也称为质量定压热容。用符号 c_p 表示。

容积不变时的比热容称为比定容热容，也称为质量定容热容。用符号 c_v 表示。

比定压热容和比定容热容之比称为质量热容比。也称为比热 [容] 比，用符号 ν 表示，是量纲为 1 的量。

$$\nu = \frac{c_p}{c_v} \quad (1-22)$$

第二节 热力学第一定律和焓

热力学第一定律有许多种表达方式。常见的表达方式是：在一个封闭的或者是完全绝热的系统中，能量不可能消失，而只能从一种形式转换成另一种形式。

由此可见，热力学第一定律是能量守恒定律在热力学中的具体应用。它说明在热力学变化中，各种能量可以相互转换，但不能被创造，也不能被消灭。

在房间空调技术领域里，能量的主要形式有以下几种。

1) 热量

热量也叫做热，是组成物质的分子和原子等作杂乱运动（热运动）的能量。热量可以从高温物体传到低温物体，热量也可以和其他形式的能量（如机械能、电能等）相互转换。热量用符号 Q 表示。单位名称为焦 [耳]。单位符号为 J。

在房间空调器的技术资料中，有时会遇到一些非法定的热量计量单位，它们和焦 [耳] 之间的换算关系如下：

$$1 \text{ Btu} = 1055.056 \text{ J}$$