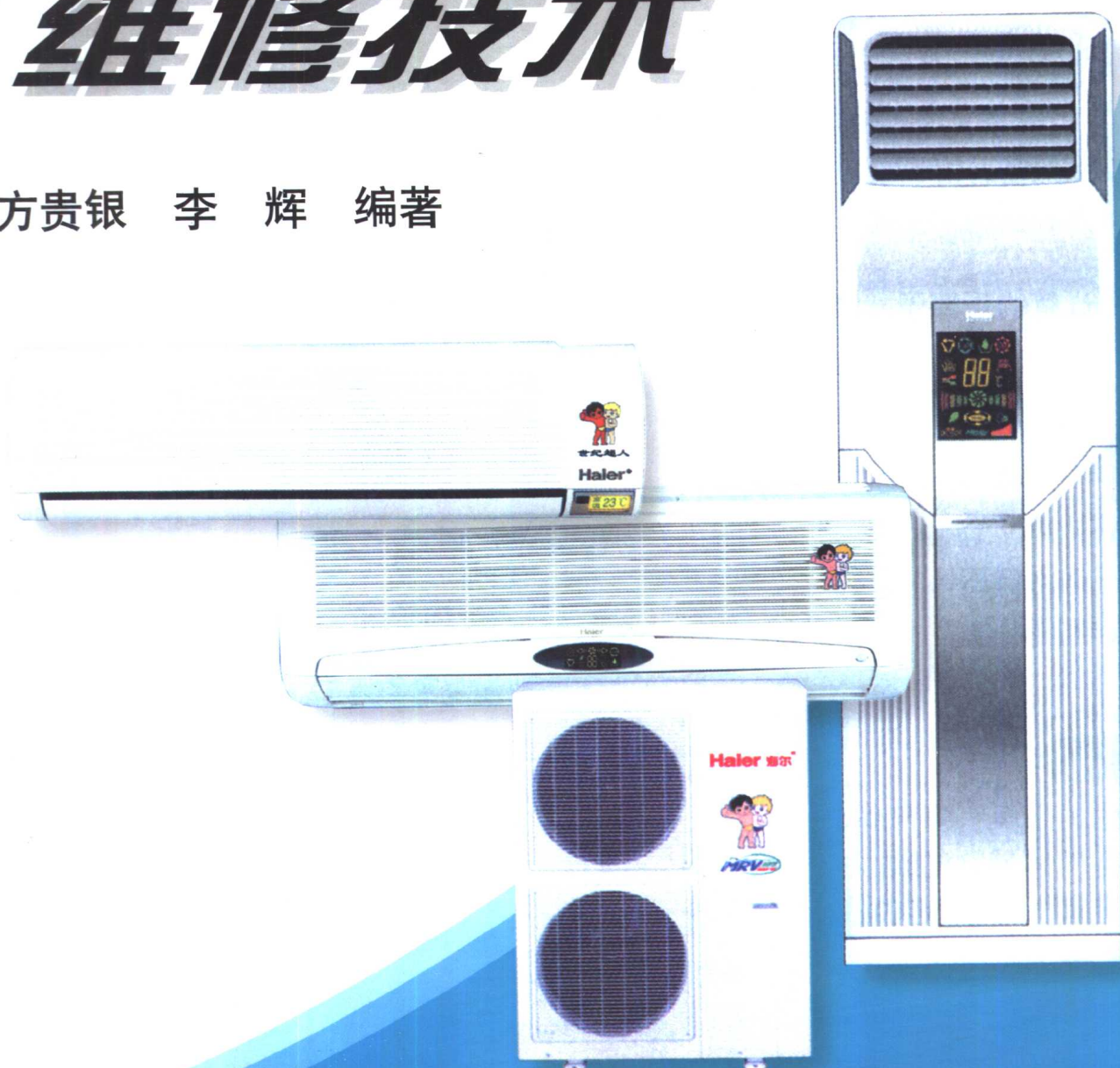


新型

家用电器维修丛书

新型 空调器结构与 维修技术

方贵银 李 辉 编著



机械工业出版社
China Machine Press

新型家用电器维修丛书

新型空调器结构与维修技术

方贵银 李 辉 编著



机械工业出版社

本书系统地阐述了各种新型空调器的工作原理与结构、电气控制系统、性能测试、日常维护与常见故障分析和排除,以及实用维修技术。其中,重点介绍了空调器的结构、自动控制系统以及空调器故障诊断和实用维修技术,并对空调器的故障检修进行了实例分析。为了方便广大读者,本书附录还列出了空调器中常用单位换算以及部分制冷剂的热力性能参数。

本书内容丰富、条理清晰、通俗易懂、实用性和可操作性强,可供从事空调器维修的技术人员和空调器生产、管理的相关人员学习和参考,也可作为制冷空调培训班的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

新型空调器结构与维修技术/方贵银,李辉编著. —北京:
机械工业出版社, 2001.9
(新型家用电器维修丛书)
ISBN 7-111-09068-3

I. 新... II. ①方...②李... III. ①空气调节器—
结构②空气调节器—维修 IV. TM925.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 043659 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:牛新国 舒莹 版式设计:张世琴 责任校对:韩晶
封面设计:姚毅 责任印制:付方敏
北京市密云县印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2001 年 10 月第 1 版·第 1 次印刷
787mm×1092mm¹/₁₆·26.5 印张·1 插面·658 千字
0 001—4 000 册
定价:39.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

2001/10/01

前 言

近年来,随着我国国民经济的发展和人民生活水平的不断提高,空调器的使用已越来越普及,新品种越来越多,性能也越来越优良。由于空调器具有控温、控湿以及净化空气等功能,故它可为精密仪器、计算机等提供适宜的温、湿度工作条件,还可为饭店、宾馆、医院、剧院、餐厅以及家庭居室创造舒适的生活环境。

为了让广大用户和维修人员了解和掌握新型空调器结构原理、使用维护及维修技术等方面的知识,我们在总结实践经验和搜集有关资料的基础上编写了本书。本书可供空调器维修人员与用户自学和参考,也可供从事空调器生产、管理的相关人员使用,同时还可作为制冷空调培训班的教学参考书。

本书系统地阐述了各种新型空调器的工作原理和结构、电气控制系统、性能测试、日常维护与常见故障分析和排除,以及实用维修技术。重点介绍新型空调器的结构、自动控制系统以及空调器故障诊断和实用维修技术,并对空调器的故障检修进行了实例分析。这些知识具有较强的实用性和可操作性,它将有助于广大用户掌握空调器的安装、使用和维护保养知识,同时对广大的空调器维修人员也具有直接的指导作用。

参加本书编写的人员有赵德平、马文涛、徐建平、王斌、刘文骏、张向明、江志伟、陈宇、胡昌华、孙伟、杨卫国、朱一鸣、陈耀东、徐春林、张伟、程国平等。在编写本书时,我们参阅和引用了一些文献资料,对这些文献资料的作者,在此表示诚挚的谢意。

限于编者的水平,书中难免有错误和缺点,敬请广大读者批评指正。

作 者

目 录

前言

第一章 空调器的结构及工作原理	1
第一节 空调器的现状与发展趋势	1
一、空调器的现状	1
二、空调器的发展趋势	2
第二节 空调器基础知识	4
一、制冷热力学基础	4
二、传热学基础	13
三、湿空气热力学基础	16
第三节 空调器的制冷循环及工作原理	23
一、空调器制冷循环	23
二、空调器制冷原理	30
三、空调器制冷系统	33
第四节 空调器的制冷剂与润滑油	37
一、对空调器制冷剂的要求	37
二、常用制冷剂的种类和性质	38
三、空调器新型替代工质	42
四、对冷冻润滑油的要求	46
五、冷冻润滑油性能指标	47
六、冷冻润滑油的种类和空调器润滑油的选择	48
七、新型冷冻润滑油	50
第五节 空调器的分类、型号、功能及性能特点	51
一、空调器的分类与型号	51
二、空调器的功能与性能指标	53
三、空调器性能特点	56
第六节 新型空调器	59
一、移动式空调器	59
二、组合式空调器	60
三、模块式空调机组	67
四、一拖二分体式空调器	68
五、蓄能式空调器	70
六、微电脑模糊控制空调器	76
七、小型家用中央空调机组	82
八、变频式空调器	85
第七节 空调器结构	90
一、窗式空调器结构	90

二、分体式空调器结构	93
三、立柜式空调器结构	97
四、空气除湿机结构	97
五、恒温恒湿空调器结构	98
六、风机盘管空调器结构	103
七、冷风器结构	105
第八节 空调压缩机的结构与性能	105
一、往复式活塞式压缩机	106
二、螺杆式压缩机	121
三、滚动活塞式压缩机	130
四、旋转滑片式压缩机	134
五、涡旋式压缩机	136
第九节 空调器换热器及节流器件	146
一、冷凝器	146
二、蒸发器	149
三、板式换热器	153
四、节流器件	158
第十节 空调器常用的辅助部件	175
一、干燥过滤器	175
二、四通换向阀	176
三、电磁阀	178
四、单向阀	180
五、分配器	180
六、气液分离器	181
七、水量调节阀	182
八、截止阀	182
九、限压阀	183
十、储液器	185
十一、油分离器	185
十二、电加热器	185
第十一节 空调器空气循环系统	187
一、空气循环系统组成	187
二、空调器室内气流组织	188
三、空调器室内空气净化	192
四、空调器降噪技术	193
第二章 空调器控制系统	199
第一节 空调器电机	199
一、对空调器电机的要求	199
二、单相电机	201
三、单相电机的类型及特点	201
四、三相电机	203
第二节 空调器的起动与保护装置	204

一、起动继电器	204
二、过负荷保护器	205
第三节 空调器温度控制器	206
一、压力感温式温度控制器	206
二、电子式温度控制器	206
第四节 空调器的化霜控制器与压力控制器	208
一、化霜控制器	208
二、压力控制器	209
第五节 空调器遥控器	210
一、遥控器功能	210
二、遥控器工作原理	211
第六节 空调器控制电路分析	212
一、窗式空调器控制电路	212
二、分体壁挂式空调器控制电路	214
三、分体立柜式空调器控制电路	229
四、恒温恒湿空调器控制电路	242
五、移动式空调器控制电路	244
第七节 空调器新型变频控制系统	246
一、变频器工作原理	246
二、空调器用变频器基本构成	250
三、变频空调器控制系统	251
第三章 空调器的性能测试	253
第一节 空调器压缩机性能测试	253
一、电量热器法	253
二、液体载冷剂循环法	255
三、制冷剂蒸气循环法	256
第二节 空调器热力膨胀阀性能测试	260
一、容量测试	260
二、热力膨胀阀关闭过热度测试	261
第三节 空调器整机性能测试	262
一、空调器的性能测试条件及一般要求	262
二、空调器的性能测试项目、测试要求及测试结果	264
三、空调器的制冷量和热泵制热量测试	267
四、空调器噪声测试	278
第四章 空调器的选购、安装、使用及日常维护	280
第一节 空调器的选购	280
一、空调房间耗冷量确定	280
二、选购空调器时注意事项	281
三、各种类型空调器的选购	282
第二节 空调器的安装	283
一、空调器对用电的要求	283
二、空调器的安装要求	284

三、各种类型空调器的安装	285
第三节 空调器的正确使用	291
一、空调器的合理使用	291
二、各种类型空调器的正确操作	292
三、空调器使用时注意事项	295
第四节 空调器的日常维护	297
一、使用季节和非使用季节空调器的保养	297
二、各种类型空调器的保养	298
三、用户对空调器的自检项目	300
第五章 空调器常见故障分析与排除	302
第一节 空调器常见故障分析方法	302
一、分析空调器常见故障的原则	302
二、判断空调器故障的简便方法	302
第二节 空调器常见故障的分析与排除	302
一、空调器制冷系统常见故障分析	302
二、空调器控制电器常见故障分析	304
三、窗式空调器常见故障的分析与排除	306
四、分体式空调器常见故障的分析与排除	314
五、恒温恒湿空调器常见故障的分析与排除	320
六、空气除湿机常见故障的分析与排除	323
第六章 空调器实用维修技术及实例	325
第一节 空调器常用维修设备、工具及其操作使用方法	325
一、修理空调器应配备的专用设备、仪表、工具及材料配件	325
二、修理空调器时的焊接操作技术	326
三、检修空调器时常用仪表的使用方法	329
四、修理空调器时常用管道工具的操作要领	330
五、分体式空调器的管道连接及移装	332
第二节 空调器维修实用操作技术	335
一、空调器制冷系统的吹污与气密性检验	335
二、空调器制冷系统检漏	336
三、空调器制冷系统抽真空	338
四、空调器制冷系统加注润滑油	340
五、空调器制冷系统充注制冷剂	342
六、空调器制冷系统清洗及排放空气	346
第三节 空调器制冷系统维修	346
一、空调器制冷压缩机维修	346
二、空调器冷凝器、蒸发器维修	352
三、空调器毛细管、膨胀阀维修	353
四、空调器干燥过滤器维修	354
第四节 空调器控制系统维修	355
一、起动继电器故障维修	355
二、过负荷保护器故障维修	356

三、除霜定时器故障维修	356
四、温度控制器故障维修	357
五、压缩机电机故障维修	357
六、电磁换向阀、电加热器、电容器故障维修	359
七、空调器维修好后性能检测	360
第五节 空调器常见故障维修实例	361
附录	370
附录 A 空调器常用单位换算	370
附录 B R12 在饱和状态下的热力性质	373
附录 C R22 在饱和状态下的热力性质	377
附录 D R134a 在饱和状态下的热力性质	380
附录 E R12 过热蒸气的热力性质	384
附录 F R22 过热蒸气的热力性质	393
附录 G R134a 过热蒸气的热力性质	403
附录 H 湿空气的主要热物理参数	412
参考文献	414

第一章 空调器的结构及工作原理

第一节 空调器的现状与发展趋势

一、空调器的现状

(一) 产品系列化, 品种多样化

空调器各生产厂家为了扩大影响、适应市场需求, 均追求规格齐全的品种, 以满足用户的挑选。空调器结构型式主要有窗式、分体挂壁式和柜式三大类; 另外还有移动式、吸顶式和台式等多种类型。

(二) 外形、面板不断更新

为了吸引用户, 给用户以新鲜感, 各空调器生产厂家在外形、面板上不断更新改进, 如外壳做成圆弧流线型, 外形上减薄、缩小, 以减轻整机重量; 面板上色调柔和并安装一些装饰画。

(三) 增加空调器功能

空调器一般由制冷、通风及控制三大系统组成, 但适当增加一些零部件, 如热泵、除湿、出风导向、定时控制、睡眠控制、空气清新处理、故障诊断、遥控等, 就能扩大使用效果, 增强产品的竞争力。

(四) 一拖二空调逐步推广

随着生活水平的提高、住房条件的改善, 一些用户需要购买一拖二空调, 国内的一些空调器厂家生产了各式的一拖二空调。

(五) 变频技术的应用

1995 年上海夏普开始推出 4 万台变频空调器, 目前, 国内已有多家空调器厂生产变频空调器。这意味着变频空调器在技术上已经成熟、价格为用户接受、能批量生产。

变频空调器是通过改变电源的频率, 连续地改变制冷压缩机和风扇电动机(以下简称为电机)的转速来实现节能的。它一般包括三个方面: 变频式压缩机、变频器和控制系统。变频式压缩机的运转范围大约在 30~130Hz 之间。

(六) 新颖空调不断出现

随着生活水平的提高、住房面积的增大, 家用空调已有向大制冷量发展的趋势。于是在市场上出现了一种户式中央空调。

目前市场上的户式中央空调主要有三种形式: 第一种为节能型, 它利用氟利昂直接在室内机内蒸发, 以达到调节空气温度的目的, 这是目前较为先进的一种技术, 它控制灵活, 工作效率高, 但造价较高; 第二种是水系统, 即通过水的循环达到升温降温的效果, 它有很高的可靠性, 一台室内机发生故障, 其余部分不受影响, 仍可继续工作, 造价也比第一种低, 但由于其能量载体是水, 因而对施工要求较高; 第三种是空气系统, 它与传统空调原理相似, 结构简单, 价格在同类产品中最低, 其只是有更多出风口, 更能满足用户的需求。

二、空调器的发展趋势

(一) 不断提高空调器能效比

节能始终是房间空调器技术进步的重要标志,单一工况的能效比已不能满足要求,更要求季节能效比高。为了提高空调器的能效比,各空调器生产厂家都投入大量的人力、财力进行研究,采取各种技术措施。

1. 选用高性能压缩机 开发出新型涡旋式压缩机和双转子旋转式压缩机。在压缩机结构和材料上进行改进,提高压缩机的效率。

采用高磁通量的直流无刷电机,转子部分采用稀土金属永久磁铁,省电节能,可提高效率 15%。

2. 提高换热器的换热效果 除了继续采用小管径内肋管、亲水膜处理的翅片外,室内换热器改成三折弯曲形,如图 1-1 所示,这样可使换热面积增加 30%,同时有足够空间使贯流风扇直径加大,风量提高 20%。

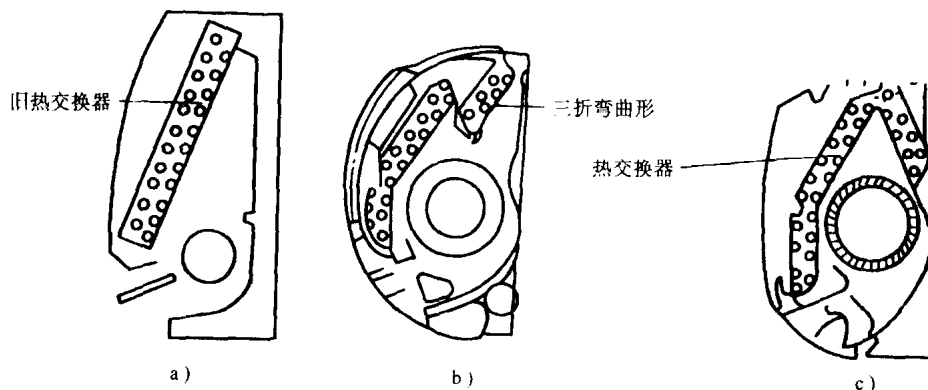


图 1-1 新旧换热器比较

a) 旧热交换器 b)、c) 三折弯曲形热交换器

3. 变频技术的采用 采用 PAM 脉幅调制变速控制或 PAM + PWM 脉宽调制变速控制,减少频繁开停机的损耗。除了压缩机用直流电机外,室内外风机电机也采用直流电机,全面提高电机效率。

4. 改进室外机轴流风扇的设计 开发重叠式斜流扇,降低噪声,使风量增加 20%,有利于降低制冷时的功耗和提高制热时的吸热量。

5. 与智能控制相配合 采用电子膨胀阀,达到最佳的制冷系统匹配。

(二) 向变频及智能控制技术发展

变频空调器在我国发展迅速,各大厂家均集中力量研制生产,目前我国许多分体式空调器均为变频式,社会拥有量也逐年增加,有许多优点:

1. 起动快 利用高频率,提高压缩机转速,快速达到制冷、制热效果。

2. 制热效果好 一般空调器选用是以夏天制冷需要为主,到冬天就显得热量不够,由于变频空调器可以在高速下运转,制热效果好。

3. 舒适性好 变频空调器依靠电源频率的变化、压缩机常开来控制室温,因而室温变化小,没有忽冷、忽热的感觉。

4. 节电 变频空调器控制室温避免了压缩机开停机,在实际使用中,房间负荷是变化的,变频空调器能自动调整适应,特别是在低负荷时有较高的能效比,因此,变频空调器可节约用电 30% 左右。

5. 变频空调器可以发展为一拖多系统 一个带有变频压缩机的室外机,可连接两至八台室内机,甚至还要多,满足多房间用户的需要。

变频空调器的开发离不开控制系统的配合,只有控制系统不断完善,才能充分发挥变频空调器的优势,因此,开始采用比模糊控制更加完善的神经网络控制。

神经网络控制是模仿人脑神经的特点,通过“学习”、“记忆”、“判断”、“联想”等进行信息处理。控制空调器按照人的感觉在最舒适又最节能的条件下运转,调节出风温度、风量和风向。

(三) 不断降低空调器噪声

用户使用空调器最直观的感觉就是冷(热)量与噪声,为了追求低噪声,空调器的结构发生了重大变化,从窗式发展到分体式,室内噪声大大下降。为了降低噪声,同时也要兼顾提高能效比,降低成本。

1. 室内噪声降低 一方面对贯流风机叶型、叶片角度与流道面积作改进设计;另一方面将换热器改为三折弯曲形,加大贯流风机直径,降低转速。

2. 室外噪声降低 选用振动小的低噪声的涡旋式压缩机和双转子旋转压缩机;改进轴流风扇设计,降低转速,另外在室外机结构上采取隔音措施。

(四) 空调器功能更加完善,使用上追求舒适、健康

1. 净化空气 分体式空调器室内部分无新风装置,长期使用,室内空气质量会下降。为了净化空气,清除室内的灰尘、花粉、霉菌等颗粒以及烟雾等各种生活异味,一般可采用静电过滤器吸附、过滤 $0.01\mu\text{m}$ 的颗粒灰尘,用活性炭吸收去除室内异味,使室内空气更为清新。

静电过滤器可以用带静电材料制造,但要定期更换。如果用电子过滤器,通过正负极放电吸附,只要定期清洗即可,先进的电子过滤器除吸附 $0.01\mu\text{m}$ 的颗粒外,还有脱臭功能,分解室内的各种异味,并定期进行自动净化。

此外,采用强烈的光再生脱臭装置,能在 90min 内将空气中的臭气和烟气降低到初期的 5%,同时能起到有效的防霉效果。

2. 改善热泵制热的舒适性 提高热泵效率、快速制热、合理化霜、提高制热量使制热量比制冷量增加 30%~50% 及扩大热泵使用季节等。目前已解决空调器制热时吹送的热风向上飘造成空调器采暖很难使脚部暖和的缺点。

一种通过“脚部监控器”和“直角气流”的新方法,即利用高灵敏度传感器检测地面温度,当预测到脚部温度下降时,立即通过调节三片结构的风栅,以垂直气流向地面集中吹送 35°C 以上的热风,使脚部温度比过去提高 4°C 。

另一种采用“双风扇气流”,通过辅助风扇“阻挡”主风扇的热风,使它吹向地面,地面形成一层热风层,实现头凉脚暖的舒适效果。

3. 开机后的快冷、快热功能 为了在开机后尽快使房间达到所需温度,空调器的控制系统需要快冷、快热的功能,即在制冷模式下,开机后一段时间里,控制系统将温度调节到比设定温度低 $1.5\sim 2^\circ\text{C}$,运转一段时间后,温度自动回复到设定温度;在制热模式下,开

机后一段时间里，控制系统将温度调节到比设定温度高 3°C 左右，运转一段时间后自动恢复到设定温度。

4. 温和除湿和加湿 将空调器蒸发器分成两部分，在除湿运行时，前一半蒸发器作蒸发器运行，后一半蒸发器作冷凝器运行。因此，室内空气温度不会降低，且可节省除湿时的耗电量。空调器在除湿运转开始后的 30min 内，控制温度比设定温度低 1°C ，风量从微风转为超微风，上下导风叶向上，使气流吹向上方，左右导风叶使气流向房间中心左右摇摆吹风，并可采用专门的加湿器与遥控器联动，当冬季制热时，如果房间内太干燥，可按遥控器起动加湿器，使房间保持在最舒适的湿度（相对湿度为 $50\% \sim 60\%$ ）。

（五）发展环保型空调器

目前大多数房间空调器都使用 R22 制冷剂，但它对大气臭氧层有破坏作用，欧洲已从 2000 年起逐步停止使用，日本、美国等将在 2020 年逐步停止使用。日本一些大的空调器公司正在积极开发对大气臭氧层无破坏作用的环保型房间空调器，目前较有成效的是在房间空调器中使用 R410A 制冷剂。

由于 R410A 制冷剂的工作压力比 R22 高 1.5 倍左右，因此，制冷系统所用的压缩机、蒸发器、冷凝器、连接管路等都要专门设计，绝对禁止与 R22 通用。

（六）向使用方便化发展

近年来，房间空调器的一个新举措是在室内机上增设显示运转状态信息的显示器。用户如要知道空调器当前的运转状态，只要按一下遥控器上的“告知”键，室内机上的液晶显示窗就会显示出空调器当前运转的是制冷模式，还是制热、除湿、通风、除霜、自动运转等模式。同时，还显示出室内温度、室外温度以及节能状态、过滤网清扫状态、定时器设定状态等信息，以方便用户使用和操作遥控器。开机时，“告知”窗显示当前的运转模式和参数，数 10s 后自动停止显示。

第二节 空调器基础知识

一、制冷热力学基础

（一）热力参数

在空调制冷技术中，用于实现能量转换的物质称为制冷工质。常用的制冷工质有氨（R717）、氟利昂（R12、R22）等。在每一瞬间工质都具有一定状态，决定工质状态的物理量称为工质的热力参数。基本的热力参数有压力、温度、比容（或密度），给出这三个参数，即可由工质的状态方程、热力学能量方程、熵的定义式等导出相关的其他热力学参数，如焓、熵、比热容、比内能等。如果是两相系，还要引入干度参数（ x_i ），干度即气体在气液两相系工质中所占的份额；混合工质，还要引入组分含量（ n_i ）。

1. 温度 温度是表示物体冷热程度的物理量。当两个物体相互接触时，若有热量自甲物体传到乙物体，那末甲物体的温度就高于乙物体温度，反之，则乙物体的温度高于甲物体温度；若两者之间没有热交换，则两物体温度相等。温度是用温度计来测量的，常用的有水银温度计和酒精温度计。

测量温度的标尺称为温标。常用的温标有三种：摄氏温标（ $^{\circ}\text{C}$ ）、华氏温标（ $^{\circ}\text{F}$ ）和热力学温标（即开氏温标 K）。

摄氏温标 ($^{\circ}\text{C}$): 它规定在一个标准大气压下, 水的冰点为 0°C 、沸点为 100°C , 中间为 100 等分即每一份为 1°C 。其单位符号为 $^{\circ}\text{C}$, 以符号 t_c 表示, 我国所采用的温标是摄氏温标。

华氏温标: 它规定在标准大气压下, 水的冰点为 32°F , 沸点为 212°F , 中间分 180 等分, 即每一份为 1°F 。其单位符号为 $^{\circ}\text{F}$, 以符号 t_F 表示, 美国及西欧国家习惯采用这种温标。

热力学温标: 也称开氏温标, 此温标把摄氏温标的 -273.15°C 定为绝对零度即 0K , 纯水在标准大气压下的冰点定为 $+273.15\text{K}$, 沸点定为 $+373.15\text{K}$ 。

三种温标的换算关系如下:

摄氏温标 t_c 与华氏温标 t_F 之间的换算式为:

$$t_c = \frac{5}{9}(t_F - 32)$$

摄氏温标 t_c 与热力学温标 T_k 之间的换算式为:

$$T_k = t_c + 273.15$$

2. 压力 在一个充满气体的容器内, 气体分子总是不停地在进行热运动, 气体分子之间不断地相互碰撞, 同时气体分子与容器壁碰撞, 大量分子碰撞容器壁形成了气体对容器壁的压力。通常是用垂直于容器壁单位面积上的力来表示压力的大小, 这种压力称为气体的绝对压力。

压力的定义式为:

$$p = F/S$$

式中 F ——整个容器壁受到的力, 单位为 N ;

S ——容器内壁的总面积, 单位为 m^2 。

国际单位制 (SI) 规定压力 p 的单位为帕斯卡 (Pa), 也就是 $1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$ 。在工程计算中, 由于 Pa 单位太小, 经常用兆帕 (MPa) 来代替, $1\text{MPa} = 1 \times 10^6\text{Pa}$ 。

压力通常用压力表、真空表或压力真空表来测量。这些测量仪器的结构原理均建立在压力平衡的基础上, 其数值不是绝对值 (绝对压力), 而是相对于大气压的差值, 即相对压力 (又称表压)。绝对压力与表压之间的关系为

$$p = p_g + p_b$$

式中 p ——绝对压力, 单位为 MPa ;

p_g ——表压, 单位为 MPa ;

p_b ——当地大气压, 单位为 MPa 。

当被测容器内压力低于大气压时, 其表压为负值, 工程测试中称为真空度, 用 p_v 表示。根据压力平衡可表示为

$$p_v = p_b - p$$

式中 p_v ——真空度, 单位为 MPa ;

p_b ——当地大气压, 单位为 MPa ;

p ——绝对压力, 单位为 MPa 。

从上述表达式中可看出, 表压力 p_g 和真空度 p_v 的大小都是相对值, 而只有绝对压力才是一个真正能说明工质状态的热力参数。

工质的绝对压力 p 、表压力 p_g 和真空度 p_v 之间的关系如图 1-2 所示。

3. 热量 热量是能量的一种形式，它表示物体吸热或放热多少的物理量。在国际单位制 (SI) 中，热量的单位用焦耳 (J) 或千焦耳 (kJ) 来表示，工程上，以前还用非法定单位卡 (cal) 或千卡 [也叫大卡 (kcal)] 来表示。

$$1\text{kJ} = 1000\text{J}$$

$$1\text{kcal} = 4.1868\text{kJ}$$

$$1\text{kcal/h} = 1.163\text{W}$$

4. 比热容 单位量的物体温度升高或降低 1K 所吸收或放出的热量，称为该物体的比热容。

比热容单位取决于热量单位和物量单位。对固体、液体而言，物量单位通常用质量单位 (kg)，则其比热容的单位为 $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ，也称之为质量热容。对气体除了用质量单位外，还常用标准容积 (m^3) 和千摩尔 (kmol) 作单位，则其比热容的单位又有 $\text{kJ}/(\text{m}^3\cdot\text{K})$ 或 $\text{kJ}/(\text{kmol}\cdot\text{K})$ ，相应的称为容积热容或摩尔热容。

不同物体的比热容数值不同。即使同一物体，在不同温度下温度升高或降低 1K 所需的热量也是不同的。

上述比热容定义是对气体的任意过程而言。其实，气体比热容还随加热过程的不同而有所变化。如果气体在加热过程中容积保持不变，则称为比定容热容。如果气体在加热过程中所处的压力保持不变，则称为比定压热容。

5. 显热与潜热 对工质进行加热时，没有相态变化，可以用温度计测量其温度的变化，此时所加的热量称之为显热。例如在 0.1013MPa 气压 (即通常大气压力的数值) 下，对水进行加热，使水的温度逐渐升高，所加的热量称之为显热。如果对物质加热到一定程度，使物质引起了相态变化 (此时用温度计无法测量其温度的变化，故温度不变)，在此相变过程中所加的热量称之为潜热。如果使液体变为气体，则此放热量称之为汽化潜热。如果使气体变为液体，则此放热量称之为凝结潜热。例如在 0.1013MPa 气压下，把水加热到沸点 100℃ 时，继续加热，水的温度不再变化，此时所加的热量将使水在沸腾状态下变成蒸汽，温度却始终为 100℃，此时所加的热量即为汽化潜热，汽化潜热与压力、温度有关。如在水在 0.1013MPa 压力时，相应的饱和温度 (即沸点) 为 100℃，使 1kg 饱和水全部变成饱和蒸汽时所需的汽化潜热为 2257.2kJ/kg，当压力为 0.12MPa 时，水的相应饱和温度为 104.81℃，汽化潜热为 2244.4kJ/kg。

6. 焓 它是一个复合的状态参数。对 1kg 工质而言，称为比焓，用符号 h 表示，单位是焦耳/公斤 (J/kg)，它的定义式是

$$h = u + pv$$

式中 u ——比内能，单位为 J/kg；

p ——压力，单位为 Pa；

v ——比体积，单位为 m^3/kg 。

从上式可见，当工质处在某一定状态，其 p 、 v 、 u 均具有一定的数值，则 $u + pv$ 也就具有确定的数值，所以比焓 h 应该是一个状态参数。G (kg) 工质的焓以 H 表示，即

$$H = Gh$$

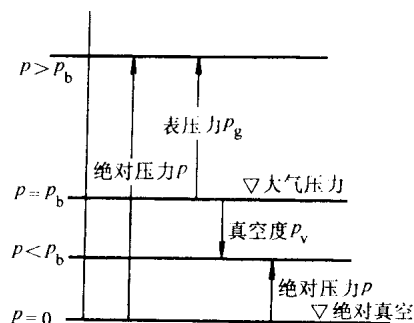


图 1-2 绝对压力、表压力和真空度的关系

对于流动工质, 焓是内能和流动功之和, 此时焓具有能量意义, 它表示流动工质的总能量中取决于热力状态的那部分能量。如果工质的动能和位能可以忽略, 则焓就代表随流动工质传递的总能量。对于不流动工质, pv 不是流动功, 所以焓只是一个复合的状态参数。

焓在热力工程中是一个重要而常用的状态参数, 如在空调制冷技术中, 压缩机绝热压缩所消耗的轴功等于被压缩气体焓的增加。

$$w = h_2 - h_1$$

式中 h_1 ——压缩前气体的比焓, 单位为 kJ/kg ;

h_2 ——压缩后气体的比焓, 单位为 kJ/kg ;

w ——绝热压缩所消耗的轴功, 单位为 kJ/kg 。

在蒸发器、冷凝器等各种热交换器中, 工质所吸收或放出的热量等于其比焓的增加或减少, 如下式:

$$q = \Delta h$$

7. 熵 它是表征工质状态变化时, 与外界换热程度的一个导出的热力状态参数。对 1kg 工质而言, 比熵用符号 s 表示, 单位为 $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 。与比焓一样, 比熵的绝对值也无法测定, 只需了解工质状态变化时比熵的变化情况, 即用其相对值。

1kg 工质在等温加热过程中, 从外界加入热量 q , 加热时的温度为 T (绝对温度), 加热前后的比熵分别为 s_1 和 s_2 , 对于理想过程可得到:

$$s_2 - s_1 = \frac{q}{T}$$

或

$$q = T(s_2 - s_1)$$

因此, 引入状态参数比熵以后, 理想过程的热力计算就很方便, 在制冷技术中也很有用处。

当 $s_2 > s_1$ 时, $q > 0$, 表示工质从外界吸收热量; 当 $s_2 < s_1$ 时, $q < 0$, 表示工质对外界放热; 当 $s_2 = s_1$ 时, $q = 0$, 表示等熵过程, 即绝热过程。显然, 对于制冷剂的理想绝热过程来说, 是一个等熵过程。

(二) 工质的状态方程与热力过程

1. 工质的状态方程 工质状态参数之间有一定的关系, 工质基本状态参数即 p 、 v 、 T 之间的关系方程称为基本状态方程。例如, G 公斤理想气体的状态方程为

$$pv = GRT$$

对于 1kg 理想气体, 其状态方程为

$$pv = RT$$

式中 p ——绝对压力, 单位为 Pa ;

v ——比体积, 单位为 m^3/kg ;

T ——热力学温度, 单位为 K ;

R ——气体常数, 与气体的种类有关, 而与气体状态无关, 其单位为 $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 。

R 与通用气体常数 R_0 ($=8314\text{J}/\text{kmol}\cdot\text{K}$) 的关系如下:

$$R = \frac{R_0}{M} = \frac{8314}{M}$$

式中 M ——气体的摩尔质量。

当工质偏离理想状态时, 则采用压缩因子 Z 表示状态方程较方便。维里亚 (Virial) 方

程为

$$Z = \frac{pv}{RT} = \frac{p}{R\rho T} = 1 + \frac{B(T)}{v} + \frac{C(T)}{v^2} + \dots$$

式中, 系数 B 、 C …分别称为第二、第三维里亚系数, 这些系数是与工质种类和温度有关。理想气体 $Z=1$, 实际气体的 Z 在大多情况下小于 1, 在少数情况下大于 1, 临界压缩因子 Z_c 一般在 0.27 附近, 极性分子的 Z_c 偏小, 如水的 Z_c 为 0.2379, 而大多数制冷剂的 Z_c 在 0.27 左右, 如 R22 的 Z_c 为 0.2732。很多描述实际气体的状态方程都是从表示 Z 的函数入手。例如, 拉获模型为

$$Z = 1 + B\rho + C\rho^2 + \dots$$

式中, 系数 B 、 C 等可以通过实际气体在临界点和沸点的参数确定。

实际工质的状态方程往往分区进行描述更为有效。在压缩式制冷的热力计算中, 必须考虑饱和液体和气体的密度、焓、熵等参数以及过热区的气体参数, 有关这些参数的详细描述可参阅有关热力学和制冷方面的书籍。

2. 工质的热力过程 工质体系与外界进行能量交换时, 工质的状态必然改变, 这种工质状态的改变是由过程来实现的。工质从状态 1 变到状态 2, 不是唯一的过程。在工质变化的不同过程中, 工质与外界的能量交换情况是各不相同的, 但对于初、终态固定的不同过程, 其能量交换的最终值是相同的。

热力学过程很多, 我们只能对一些常用的典型过程进行介绍。热力过程一般以在过程中某热力参数所具有的特征和与外界热交换的倾向性加以命名。常用的过程有绝热压缩、等

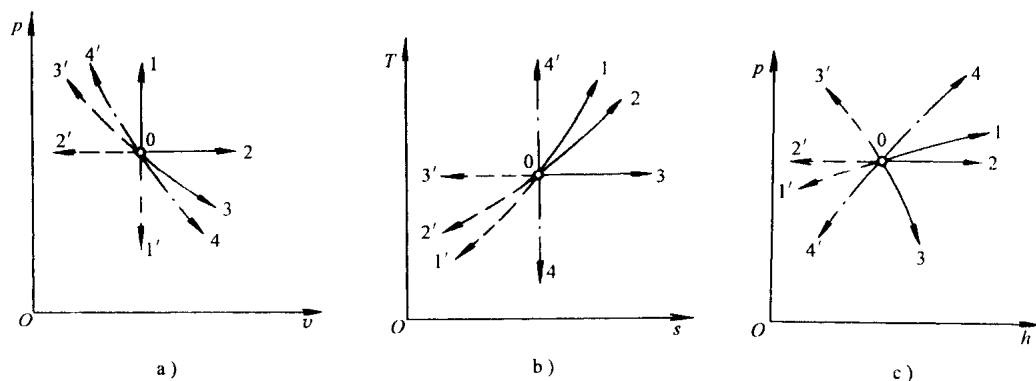


图 1-3 若干热力过程在不同状态图上的表示

温压缩、多方压缩、绝热膨胀、等焓节流、等压放热、等压吸热、等温吸热、等温放热等过程。

图 1-3 中的 0—1、0—1' 为等容过程, 0—2、0—2' 为等压过程, 0—3、0—3' 为等温过程, 0—4、0—4' 为等熵 (绝热) 过程。其中实线表示吸热过程, 虚线表示放热过程, 而点划线表示绝热过程。

(三) 热力学基本定律及其在制冷技术中的应用

1. 热力学第一定律 实践证明, 能量既不能被创造, 也不能被消灭, 它只能从一种形式转换成另一种形式, 而其总量保持恒定。热力学第一定律就是讨论热能 with 机械能相互转变时的能量守恒定律。