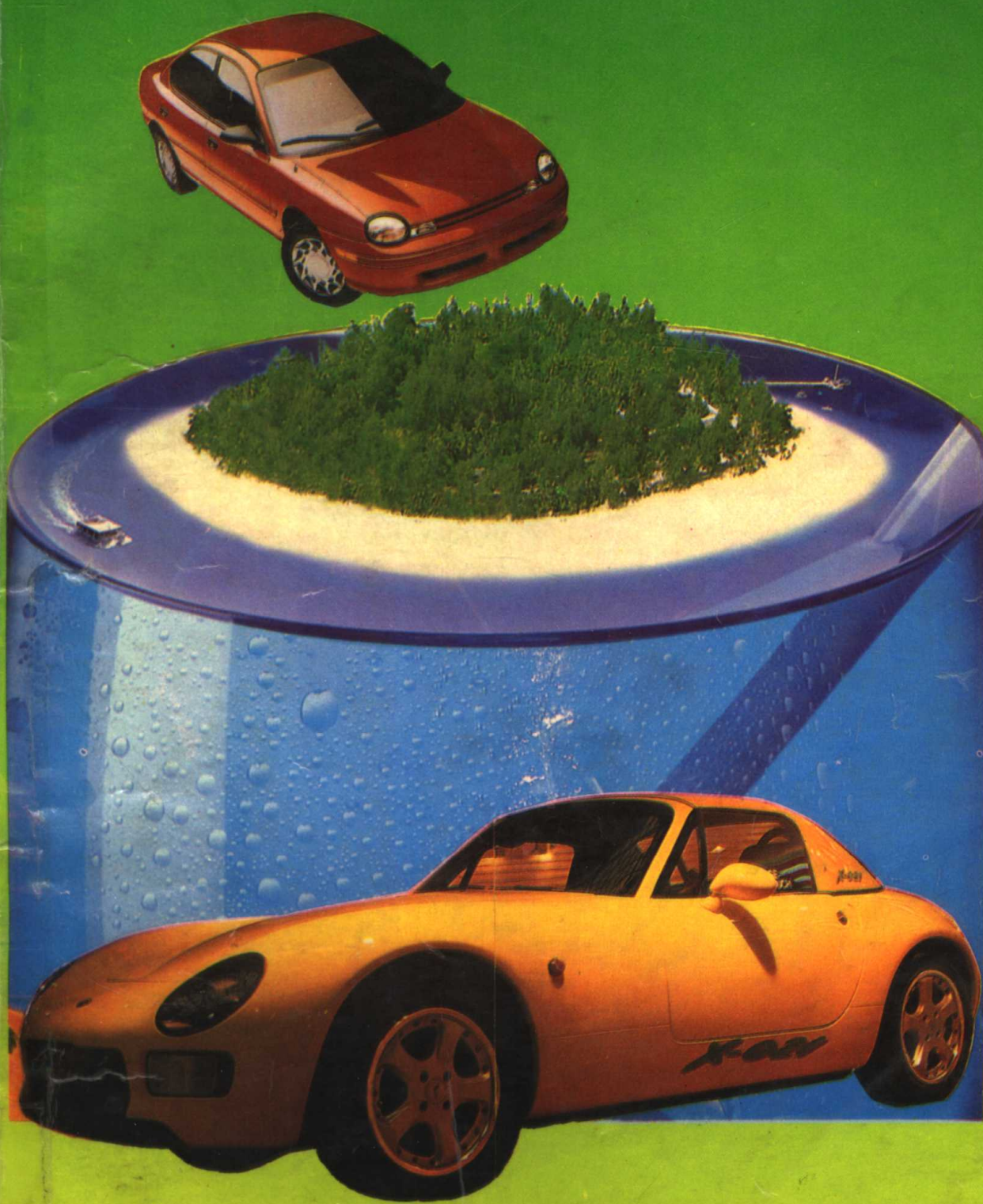


汽车空调

王宜义 王 军 编著



西安交通大学出版社

汽车空调

王宜义 王 军 编著

西安交通大学出版社

(陕)新登字 007 号

内 容 简 介

本书以轿车空调为主,系统地介绍了有关汽车空调的基本理论和专门技术及其应用。书中包括空调和蒸气压缩制冷循环的基本原理,R134a 工质在汽车空调中应用现状。压缩机、蒸发器、冷凝器和节流装置等的结构,工作原理及其计算方法。汽车空调系统和装置维修的基本操作,常见故障分析和排除方法,汽车空调性能试验方法等。

本书可供有关专业技术人员阅读,也可供汽车空调维修人员参考,并可作为大专院校有关专业的参考用书。

汽 车 空 调

王宜义 王 军 编著

责任编辑 孙文声

西安交通大学出版社出版发行

(西安市咸宁西路 28 号 邮政编码:710049)

西安电子科技大学印刷厂印装

陕西省新华书店经销

开本:787×1092× 1/16 印张:16 插页:2 字数:382 千字

1995 年 7 月第 1 版 1995 年 7 月第 1 次印刷

印数:1—8000

ISBN7-5605-686-0/TK·54

定价:12.00 元

前 言

汽车空调是为汽车车室创造舒适环境的一门技术。汽车空调设备则是实现汽车空调的手段。汽车装有空调设备,对提高其行驶的安全程度和增加汽车在市场上的竞争力也是大有裨益的。汽车空调与传统的空调相比有许多特点。由于这些特殊性,汽车空调已形成了空调的一个专门分支。尽管国外的汽车空调发展已有相当的历史,且达到了相当高的水准,但就国内来说,汽车空调的发展较晚,真正具有一定规模还是近一些年的事。由于我国的改革开放政策,汽车工业得到迅速发展,汽车空调也成为当前热门课题之一,日益为人们所认识和重视。为了适应我国汽车空调发展的需要,面对这类专业书籍的缺乏,我们特编写了这本书。

本书以中等以上工程技术人员为对象,就汽车空调的原理、设备结构、控制和维修以及试验诸方面作了较为详细的叙述。考虑到这一新兴行业中有一些转行过来的人员,可能对热力学知识不甚熟悉,所以,在适当的章节中介绍了一点有关的基础知识,以帮助这部分读者学习之用。

在编写过程中,根据编者的教学实践经验,本着由浅入深,循序渐进的原则,既考虑满足当前一般性要求,又为读者指出进一步深入的途径。既考虑汽车空调的现状又考虑到近期的发展。因此,本书可作为从事该领域工作人员的参考书,也可作为选修用的教材。

本书由王宜义主编。王军编写第三、第四章和附录,其余由王宜义编写。本书承蒙谢麟阁教授审阅,出版社孙文声在出版过程中大力支持和帮助,特此致谢。

汽车空调发展相当迅速,由于时间仓促和编者水平所限,书中的错误和不足之处在所难免,敬请读者不吝指教。

编者

1995年6月于西安交通大学

目 录

概述

1 空气调节基础

1.1 湿空气的概念	(3)
1.2 湿空气的状态参数	(3)
1.2.1 空气的温度	(3)
1.2.2 大气压力	(4)
1.2.3 含湿量 d	(4)
1.2.4 相对湿度 φ	(5)
1.2.5 空气的焓 h	(5)
1.2.6 空气的比容 v 和密度 ρ	(5)
1.3 湿空气的焓湿图($h-d$ 图)及其应用	(6)
1.3.1 确定空气的状态参数	(6)
1.3.2 求空气的露点温度	(7)
1.3.3 求空气的湿球温度	(7)
1.3.4 空气状态变化过程的表示方法	(8)
1.3.5 两种不同状态空气混合	(8)
1.4 汽车空调热湿负荷的计算	(9)
1.4.1 车外空气计算参数的确定	(9)
1.4.2 车内空气计算参数的确定	(10)
1.4.3 热湿负荷计算	(12)
1.4.4 减少热负荷的途径	(19)
1.5 汽车空调热负荷的估算	(21)

2 汽车空调系统

2.1 全空调系统	(22)
2.2 送风量的确定	(29)
2.3 车室内的气流组织和配气	(29)

3 汽车空调制冷系统

3.1 蒸气压缩式制冷的热力学基础	(31)
3.1.1 蒸气压缩式制冷的工作原理	(31)
3.1.2 制冷循环的热力学基础	(32)
3.1.3 温熵图及压焓图	(34)
3.1.4 逆卡诺循环	(35)
3.2 蒸气压缩式制冷的理论循环及热力计算	(36)

3.2.1	蒸气压缩式制冷的理论循环	(36)
3.2.2	热力计算和性能指标	(37)
3.2.3	液体过冷、吸气过热、回热	(39)
3.3	蒸气压缩式制冷的实际循环及热力计算	(43)
3.3.1	蒸气压缩式制冷的实际循环	(43)
3.3.2	实际循环的热力计算	(44)
3.4	制冷剂	(45)
3.4.1	制冷剂种类和对制冷剂的一般性要求	(45)
3.4.2	汽车空调常用制冷剂	(47)
3.4.3	CFCS 的替代	(49)
3.5	制冷机的性能与工况	(53)
3.5.1	冷凝温度的影响	(54)
3.5.2	蒸发温度的影响	(54)
3.5.3	制冷机的工况	(55)
4	汽车空调用压缩机	
4.1	往复式活塞式压缩机的原理和性能	(59)
4.1.1	往复式活塞式压缩机的工作原理	(59)
4.1.2	往复式活塞式压缩机的热力过程	(60)
4.1.3	汽车空调压缩机的性能曲线	(66)
4.2	曲柄连杆往复式压缩机的结构	(68)
4.3	斜板式压缩机	(70)
4.3.1	斜板式压缩机的工作原理	(70)
4.3.2	斜盘式压缩机的结构	(71)
4.3.3	摇板式压缩机的结构	(73)
4.4	旋叶式压缩机	(74)
4.4.1	旋叶式压缩机的工作原理	(74)
4.4.2	旋叶式压缩机的结构	(75)
4.4.3	旋叶式压缩机的热力计算	(76)
4.5	滚动活塞式压缩机	(79)
4.5.1	滚动活塞式压缩机的工作原理	(79)
4.5.2	滚动活塞式压缩机的结构	(81)
4.5.3	滚动活塞式压缩机的热力计算	(83)
4.6	涡旋式压缩机	(85)
4.6.1	涡旋压缩机的基本结构和工作原理	(86)
4.6.2	涡旋压缩机的结构特点	(87)
4.6.3	涡旋压缩机的几何关系及热力计算	(93)
4.7	三角转子式压缩机	(97)
4.7.1	三角转子压缩机的工作原理	(97)
4.7.2	三角转子压缩机的结构	(98)

4.7.3	三角转子压缩机的几何关系及热力计算	(100)
4.8	变容量压缩机	(104)
4.8.1	变容量斜板压缩机	(104)
4.8.2	变容量旋叶压缩机	(106)
4.8.3	变容量滚动活塞压缩机	(108)
4.8.4	变容量涡旋压缩机	(108)
4.9	压缩机轴封、电磁离合器	(110)
4.9.1	轴封	(110)
4.9.2	电磁离合器	(112)
4.10	汽车空调用封闭式压缩机	(113)
4.10.1	封闭式压缩机的结构	(113)
4.10.2	封闭式压缩机的性能	(114)
5	冷凝器和蒸发器	
5.1	换热器的基本原理	(117)
5.1.1	通过圆管的传热	(117)
5.1.2	平均温差	(118)
5.1.3	提高热流量的措施	(120)
5.2	肋片换热	(120)
5.2.1	肋效率	(120)
5.2.2	肋面效率	(121)
5.3	冷凝器	(122)
5.3.1	冷凝器的构造	(122)
5.3.2	冷凝器的布置	(126)
5.4	冷凝器的设计	(127)
5.4.1	换热系数的确定	(128)
5.4.2	空冷冷凝器的设计计算	(132)
5.5	蒸发器	(133)
5.5.1	板翅式蒸发器	(133)
5.5.2	蒸发器总成	(134)
5.5.3	蒸发器的换热特点	(134)
5.6	蒸发器的设计计算	(136)
5.6.1	换热系数的确定	(136)
5.6.2	蒸发器的设计计算	(138)
6	节流装置和其它辅助设备	
6.1	热力膨胀阀	(143)
6.1.1	热力膨胀阀的构造	(143)
6.1.2	热力膨胀阀的工作原理	(145)
6.1.3	热力膨胀阀的选配及安装	(147)
6.2	膨胀管	(147)

6.3	H 型膨胀阀	(148)
6.4	贮液干燥器	(149)
6.4.1	贮液干燥器的作用	(149)
6.4.2	贮液干燥器的构造	(149)
6.5	吸气贮液器	(150)
6.6	压力控制装置	(151)
6.6.1	蒸发压力调节阀	(151)
6.6.2	导阀控制吸气节流阀	(151)
6.6.3	组合阀	(153)
6.7	橡胶管	(155)
6.8	维修阀	(156)
6.8.1	自动维修阀	(156)
6.8.2	手动维修阀	(156)
7	汽车空调的热源	
7.1	汽车的采暖	(158)
7.2	余热式暖气装置	(158)
7.3	独立燃烧式暖气装置	(160)
7.4	热交换器	(162)
8	汽车空调装置	
8.1	汽车空调装置分类	(164)
8.1.1	按功能分	(164)
8.1.2	按驱动方式分有非独立式和独立式	(165)
8.1.3	按机组型式分有整体独立式和分散式	(165)
8.1.4	按送风方式分有直吹式和风道式	(166)
8.1.5	按蒸发箱布置方式分	(166)
8.2	实车举例	(168)
8.2.1	轿车和小型客车	(168)
8.2.2	大、中型客车空调	(169)
8.3	特种用途车辆空调装置的布置实例	(170)
8.3.1	卡车空调	(171)
8.3.2	工程车空调	(172)
9	汽车空调的控制	
9.1	汽车空调系统常用的控制元件	(175)
9.1.1	恒温器	(175)
9.1.2	温度的自动控制	(177)
9.2	真空控制装置	(182)
9.2.1	真空管路控制原理	(182)
9.2.2	真空控制元件	(183)
9.3	压力开关	(183)

9.3.1	压力开关的保护作用	(184)
9.3.2	压力开关的控制作用	(185)
9.4	车速控制	(185)
9.4.1	怠速继电器	(186)
9.4.2	怠速转速提高装置	(187)
9.5	空调系统控制电路分析	(188)
9.5.1	单风口冷风机的控制电路	(188)
9.5.2	有怠速控制器的控制电路	(189)
9.6	小车汽车空调电路举例	(191)
9.7	微机控制的空调系统	(191)
10	汽车空调系统的维修	
10.1	检修工具及其使用方法	(193)
10.1.1	歧管压力计	(193)
10.1.2	检漏仪	(195)
10.1.3	制冷剂注入阀	(197)
10.2	汽车空调维修的基本操作技能	(197)
10.2.1	空调系统的清扫	(198)
10.2.2	气密性试验	(198)
10.2.3	抽真空	(199)
10.2.4	充灌制冷剂	(200)
10.2.5	添加冷冻油	(201)
10.3	系统诊断	(201)
10.3.1	不正常和正常压力状态	(202)
10.3.2	汽车空调故障及其排除	(204)
10.4	维修步骤	(208)
10.4.1	C-171 压缩机的维修步骤	(209)
10.4.2	试验热力膨胀阀的性能	(215)
11	汽车空调试验方法	
11.1	热工参数的测量	(220)
11.1.1	温度测量仪表	(220)
11.1.2	温度的测量	(222)
11.1.3	流体压力的测量	(224)
11.1.4	流速的测量	(226)
11.1.5	流量的测量	(227)
11.2	压缩机试验	(229)
11.2.1	压缩机性能试验	(230)
11.2.2	压缩机的耐久试验	(233)
11.2.3	压缩机的其它试验	(234)
11.3	空调机组的系统试验	(235)

11.3.1 试验条件.....	(235)
11.3.2 试验方法.....	(236)
11.4 整车空调性能试验.....	(240)
11.4.1 空调系统舒适性道路试验.....	(241)
11.4.2 汽车空调系统可靠性道路试验.....	(241)
11.4.3 空调系统对整车动力性能影响的道路试验.....	(242)
11.4.4 空调装置对整车经济性影响的道路试验.....	(242)
11.4.5 空调系统对整车冷却系统影响的道路试验.....	(242)
11.4.6 空调系统对车室内噪声影响的道路试验.....	(242)
11.5 汽车空调环境模拟试验	(242)
参考文献.....	(245)
附录	

概 述

汽车空调是空调技术在汽车上的应用,其目的在于创造车室内舒适的空气环境,以保护司乘人员的身体健康和提高工作效率。同时,对增加汽车行驶的安全有积极作用。装有空调的汽车还可增强其在市场上的竞争力,是促销的重要措施之一。

随着汽车工业的迅猛发展,对汽车空调也不断提出了新的课题。现在,汽车空调已成为空调技术中的一个专门分支。汽车空调与一般空调相比,如建筑物空调,有着许多特殊要求,具体表现在:

1) 汽车是交通和运输的工具,不妨把汽车看作是移动着的建筑物。与固定建筑物相比,其容积狭小,人员密集,车身的热工性能又比建筑物差得多。因此,汽车的热湿负荷远比一般的建筑物大,且气流分布难以均匀。

2) 汽车空调一般采用蒸气压缩式制冷机为冷源,压缩机由发动机驱动,其制冷能力随车速和负荷变化很大。汽车在怠速或慢速行驶时,制冷能力小。而这时恰恰需要大的制冷量,造成供不应求。另外,在正常或高速行驶时,制冷能力剧增,而需求量相对减小,又形成了供大于求的状况。这是一对明显的矛盾,这与设备选择和控制有关。设备选择过大,能满足怠速和慢速时要求,但对设备造价、安装位置和能源利用率等均不利,若选择得小,又满足不了要求。

3) 汽车本身结构非常紧凑,可供安装空调设备的空间极为有限,对空调装置的体积和重量有高的要求。

4) 空调装置要消耗一定动力,汽车发动机动力有限。因此,必须考虑空调装置对汽车动力、操纵性能的影响。

5) 空调装置是安装在汽车上,它必须与车身的内饰统一、协调和美观,以保持整车的完美。

综上所述,对汽车空调提出了许多专门课题,值得人们去探讨、研究。

汽车空调的发展历史并不算长,比汽车的出现整整晚了半个世纪。但其发展速度却是惊人的。最早可追溯到1927年,第一台汽车空调器的诞生。当时汽车空调装置极其简单。它包括一个加热器、一套通风系统和一个空气过滤器,承担了在冬季向乘客供暖,并为风档玻璃内侧除霜的任务。到1940年才开始出现装有制冷机的轿车,由美国Packard公司生产。在第二次世界大战以前,由于材料和制造方面的困难,影响了汽车空调装置的发展。1954年,第一台冷暖一体化整体式设备安装在美国Nash牌小汽车上。1960年,有冷气装置的汽车空调才普及。1964年,第一台自动控温的汽车空调出现,装于Cadillac轿车中。到1979年,美国和日本共同推出了用微机控制的空调系统,标志着汽车空调已进入第四代产品。以日本车用空调的安装率演变情况为例,如图0-1所示,可以看到1980年日本中型车已达100%,小型车为90%,大众车已超过了60%。美国各种车平均达到70%,据1985年的统计,美国汽车空调装置年产量达1300万套,日本年产量为630万套,由此可见,汽车空调作为汽车发展的一个重要组成部分发展之快,可说是日新月异,兴旺发达。

我国汽车空调起步较晚。在本世纪 60 年代,当时仿制了第一台汽车空调器安装在红旗牌轿车上。国内汽车空调真正起步是在 70 年代末 80 年代初。国内空调行业迅猛发展,尤其是国内汽车工业的发展,汽车空调的国产化已提到议事日程,受到广泛的重视。现今已成为一个热门课题。仿制、开发、研究和生产非常活跃,方兴未艾。

汽车空调的应用范围也在不断拓宽,它已不限于轿车、旅游车、公共汽车等,现在已扩展到建筑机械,如铲土机、推土机等,工程车和农用机械,如拖拉机、收割机等驾驶室。

汽车空调从采暖开始,时至今日,在空调设备上已经经历过不断的更新。以压缩机为例,它就经历了以往复活塞立式压缩机为代表的第一代产品,相继发展出第二代的斜盘式、摇板式和径向辐射式压缩机。第三代的旋叶式、滚动活塞式、三角转子式压缩机。在 80 年代出现涡旋式压缩机可谓是第四代产品。近些年变容量压缩机的出现,又开辟了新的途径。汽车空调系统和控制的发展也尤为突出,微型电子计算机技术用到汽车空调装置上,把汽车空调技术推到了一个新的高度。

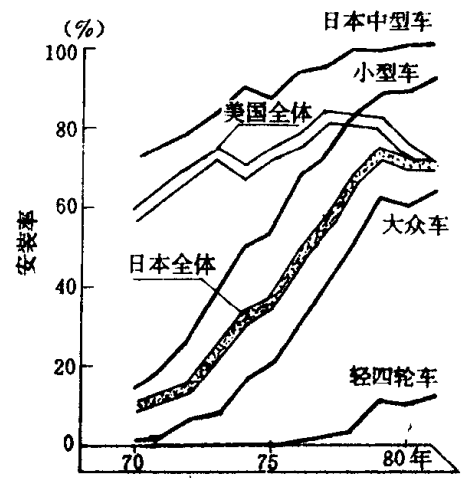


图 0-1 车用空调安装率

1 空气调节基础

空气调节,简称空调。汽车空调是空调领域中的一个分支。它的任务是要提供车室内舒适的热环境,这里所说的舒适热环境包括车室内空气的温度、湿度、气流速度、洁净度和新鲜度等。空气调节的对象是空气。因此了解空气的物理性质和对空气的处理过程,是实现空调任务的基础;而汽车空调的热湿负荷计算则是汽车空调系统的正确设计和汽车空调装置合理选择的主要依据;同时又为汽车结构和结构的热工性能的改进指明了途径;这是有关汽车空调节能的一项基础性工作。空调系统则是使空气参数达到预定目标的整体设施。本章将上述问题逐一加以叙述。

1.1 湿空气的概念

空气调节的对象是空气。众所周知,空气的组成是:氮气按体积计算占 78%,氧气按体积计算占 21%,余下的 1%为其它气体(惰性气体等)。水蒸汽也在其中,其含量很少,仅占千分之几。在空气调节工程中将空气中除水蒸汽以外的气体混合物称作干空气,而把含水蒸汽的空气称为湿空气。换句话说,把湿空气看成是干空气和水蒸汽两个成分组成的混合物。之所以这样划分纯粹服从空调的目的。因为水蒸汽在湿空气中的含量虽少,但是它给人们舒适性带来的影响却是十分巨大的。举例来说,我国的南、北方地区,在夏天同为 30℃的气温下,在南方的人往往感到闷热难熬,颇不舒服。究其原因就是南方空气潮湿。在炎热气温下,人体为了保持自身的热平衡,往往用发汗的方法来调整体温。人体在与周围环境进行热质交换,如果环境空气的水分较多,汗就散发不开,人就会觉得闷热。其实,在上述情况下每公斤干空气中的水蒸汽含量只有微量的差别,却使人们的感受差别十分悬殊。

1.2 湿空气的状态参数

空气所处的热状态可以用一些物理量表征,即用所谓状态参数来描述。基本状态参数为温度 T 或 t 、压力 p 、比容 v 或密度 ρ 。假如这些状态参数中两个为已知,那么,热状态就完全决定了。它们之间的关系服从理想气体状态方程。对于单位质量气体可写成

$$pv = RT \quad \text{或} \quad p/\rho = RT \quad (1-1)$$

式中 R 表示气体常数 $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$,取决于气体性质。干空气 $R_a = 287\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;水蒸汽 $R_v = 461\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。

1.2.1 空气的温度

空气温度是空气冷热程度的标志。它与分子运动有关。分子运动的平均动能愈大,则温度

愈高,反之亦然。当分子运动停止时物体就达到最低温度。规定这个温度为绝对零度。以此点起算的温标称作绝对温标,绝对温度以 $T(K)$ 表示。通常工程上采用摄氏温标,以 $t(^{\circ}C)$ 表示。它们之间的关系为

$$T(K) = t(^{\circ}C) + 273.15 \quad (1-2)$$

应该指出,在公式(1-1)的理想气体状态方程中必须用绝对温标值代入。

当空气受热时,其温度就升高,而被冷却时,温度就下降。这种热量的增加或减少将引起温度的变化而被人们感觉到,称之为显热。有时热量的增减并不表现在温度的变化,而体现在物质状态的变化。如水蒸汽变成同温度的水则会放热,反之,由水变成同温度的水蒸汽就需要吸热。这种热量称作潜热。

1.2.2 大气压力

压力是作用在单位面积上的力,单位是帕,以 Pa 表之。大气压力是指地球表面上的空气层的重量对单位面积上所造成的力。定义在纬度为 45° 处海平面上的平均大气压力为标准大气压,也可做为衡量大气压力的尺度。

$$1 \text{ 标准大气压} = 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$$

值得指出的是,当地的大气压力并不是一个定值,它随着地区的海拔高度不同而异。在同一个地区,由于季节变化和天气晴雨变化也有差别。举例来说,上海市海拔为 4.5m,夏季大气压力为 100.5kPa,冬季为 103.5kPa,而海拔为 3658m 的西藏拉萨地区,夏季大气压力仅为 65.19kPa,冬季为 65.07kPa。

因为这里把湿空气看作干空气和水蒸汽两组分的混合物,所以大气压力 B 也由两部分组成:干空气的分压力 P_a 和水蒸汽分压力 P_q ,其关系是

$$B = P_a + P_q \quad (1-3)$$

显然,空气中含水蒸汽量越多,则水蒸汽分压力也越大,反之亦然。

1.2.3 含湿量 d

含湿量定义为每一公斤干空气中所含水蒸汽量。对于质量为 G 的干空气和水蒸汽,由理想气体状态方程,可写出

$$P_a V = G_a R_a T$$

$$P_q V = G_q R_q T$$

利用式(1-3),并将 R_a 和 R_q 值代入,根据含湿量定义

$$d = \frac{G_q}{G_a} = \frac{1000 P_q V / R_q T}{P_a V / R_a T} = \frac{622 P_q}{B - P_q} \quad \text{g/kg 干空气} \quad (1-4)$$

由上式可知,因 P_q 比 B 小得多,所以含湿量几乎与水蒸汽分压力成正比,与空气的压力成反比。对某一地区来说,大气压力基本上变化不大,可视为定值。于是含湿量就只与水蒸汽分压力有关。在空调计算中,往往以含湿量的变化量来表达加湿或除湿的程度。

例 1-1 已知某地区的大气压力 $B = 99325 \text{ Pa}$,空气中的水蒸汽分压力 $P_q = 1550 \text{ Pa}$ 。试求含湿量。

[解] 按式(1-4)

$$d = \frac{622 \times 1550}{99325 - 1550} = 9.86 \quad \text{g/kg 干空气}$$

1.2.4 相对湿度 φ

众所周知,在一定温度之下,湿空气所含的水蒸汽量有一个最大限度.超过这一限度,多余的水蒸汽就会从湿空气中凝结出来.这种含有最大限度的水蒸汽的湿空气称作饱和空气.饱和空气所具有的水蒸汽分压力和含湿量,称该温度下湿空气的饱和水蒸汽分压力和饱和含湿量.

相对湿度 φ 定义为空气中水蒸汽分压力和同温度下的饱和水蒸汽分压力之比.

$$\varphi = P_v / P_{v,s} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 $P_{v,s}$ 为饱和水蒸汽分压力.

应该指出,含湿量和相对湿度之间有联系,但不能相互替代.含湿量只表示水蒸汽的含量多少而已,并不能反映空气达到饱和的程度.而相对湿度则说明湿空气接近饱和的程度. $\varphi = 0$ 意味着湿空气中不含水蒸汽,即为干空气,这时它吸收水蒸汽的能力很强. $\varphi = 100\%$ 则说明湿空气已达到饱和状态,再也不能吸收水蒸汽了.湿衣服挂在空气干燥的房间里比晾在较潮湿房间里干得快就是这个道理.但相对湿度并不表示水蒸汽在湿空气中的含量.因此,含湿量和相对湿度这两个概念是互相补充的.

1.2.5 空气的焓 h

空气的焓是指湿空气含有的总热量,它是表示物质系统能量的状态参数之一(在第3章中再详细叙述).

焓值的大小用定压比热 c_p 乘以温度 t 来度量,即

$$h = c_p \cdot t \quad (1-6)$$

式中 定压比热 c_p 定义为在压力不变的条件下,1kg 物质温度升高 1°C 所需要的热量,单位是 $\text{kJ}(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$.

干空气的定压比热 $c_{p,a} = 1.005 \text{ kJ}(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$

水蒸汽的定压比热 $c_{p,v} = 1.84 \text{ kJ}(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$

湿空气的焓等于 1kg 干空气和 d 公斤水蒸汽两者焓之和.即

$$h = h_a + dh_v = 1.005t + d(2500 + 1.84t) \quad \text{kJ/kg} \quad (1-7)$$

式中 2500 kJ/kg 是在 0°C 时把 1kg 水变成 0°C 的水蒸汽所需要的汽化热.

由式(1-7)可清楚地知道,在计算湿空气焓时是以 1kg 干空气作为基数进行计算的,(1-7)式所示的是 $(1 + d) \text{ kg}$ 湿空气的焓.还可将式(1-7)改写成

$$h = (1.005 + 1.84d)t + 2500d \quad \text{kJ/kg} \quad (1-8)$$

式中 第一部分直接与温度有关,为湿空气的显热部分.第二部分与温度无直接关系,为湿空气的潜热部分.显热与潜热之和称为全热,即焓值.

状态参数——焓在空调中是很有用的.如在空气处理过程中用空气焓值的变化来判断空气是得热还是失热,并表示其得到或失去的热量多少.

1.2.6 空气的比容 v 和密度 ρ

单位质量的空气所占有的容积为空气的比容 v ,单位是 m^3/kg .密度 ρ 是单位容积中所含有的空气质量,单位是 kg/m^3 .密度和比容互为倒数,两者只能看作是一个状态参数.它与温度、压力的关系为

$$v = 1/\rho = RT/p \quad \text{m}^3/\text{kg} \quad (1-9)$$

湿空气的密度由干空气和水蒸汽组成,两种气体是均匀混合的,并且共同占有相同的容积和具有相同的温度,因此有

$$\rho = \rho_g + \rho_q = \frac{p_g}{R_g T} + \frac{p_q}{R_q T}$$

将 $P_g = B - P_q$, $P_q = \varphi P_{q,b}$ 以及 R_g 、 R_q 的值代入上式, 经整理后, 可得

$$\rho = \frac{0.00348B}{T} - \frac{0.00134\varphi P_{q,b}}{T} \text{ kg/m}^3 \quad (1-10)$$

1.3 湿空气的焓湿图(h - d 图) 及其应用

在空调的计算中, 为简便起见, 通常将状态参数绘制成图线形式。这样, 就可将冗长的计算工作转化为查图工作, 方便得多。常用的空气状态图 为焓湿图。

图 1-1 是焓湿图的示意图。焓湿图通常是针对某一特定的大气压力 B 绘制而成。以焓 h 为纵坐标, 以含湿量 d 为横坐标。为使图线清晰和图面开阔起见, 两坐标轴之间的夹角取为 135° , 图上的参变量为温度 t 和相对湿度 φ 。所以图上有四组线, 它们分别是等含湿量线簇 d 、等焓线簇 h 、等温线簇 t 和等相对湿度线簇 φ 。等含湿量线($d = \text{常数}$) 为垂直线; 等温线($t = \text{常数}$) 近乎是水平线, 其实, 只有 $t = 0^\circ\text{C}$ 的等温线才是水平的。而在它上面或下面的等温线都偏离了水平方向, 越远则偏离越甚。等相对湿度线($\varphi = \text{常数}$) 为一组曲线。

值得注意, 图上 $\varphi = 100\%$ 的线是空气的饱和状态线。它将图分成两个区。上面部分为未饱和空气区, 下面部分为过饱和空气区, 又叫雾湿区, 在这个区域内空气状态是不存在的, 因为空气的相对湿度不可能大于 100% 。

焓湿图的应用十分广泛, 且给人以直观的认识。其计算方便而计算结果又是在工程允许的偏差范围之内。现仅就几种应用分述于后。

1.3.1 确定空气的状态参数

在前面介绍的湿空气的状态参数中, 只有两个是独立的。换言之, 只要已知任意两个参数, 其它参数也就相应的确定了。如图 1-2 所示, 在 $h-d$ 图上的每一个点都代表了空气的一个状态, 这个点是由两个参数规定的, 一旦这点确定下来, 在这点上的其它状态参数也就相应地确定。

举例来说, 已知大气压力为 101.325kPa , 室内空气温度 $t = 26^\circ\text{C}$, 相对湿度 $\varphi = 55\%$, 求空气的含湿量和焓值。首先我们必须选用 $B = 101.325\text{kPa}$ 的 $h-d$ 图, 然后, 在图上找出温度 $t = 26^\circ\text{C}$ 的等值线和 $\varphi = 55\%$ 的等相对湿度线。两条线的交点 A 即为所求的空气状态点。从图上可读出含湿量 $d_A = 0.01156\text{kg/kg}$ 干空气和焓值 $h_A = 55.58\text{kJ/kg}$ 干空气, 还可以从图上查出在这个状态下的水蒸汽分压力为 1848.32Pa 和水蒸汽饱和压力 $P_{q,b} = 3360.58\text{Pa}$ 。

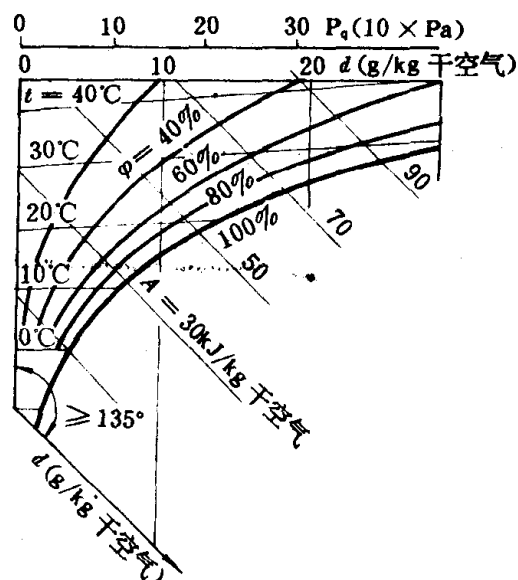


图 1-1 湿空气焓湿图

1.3.2 求空气的露点温度

前已述及,在一定温度下,空气中水蒸汽的含量有一个最大的限度,达到这个限度则谓之饱和。这个限度值的大小随空气温度的高低而变化,空气温度愈高,则其限值愈大,反之亦然。这就告诉我们,如果在某一温度下的饱和空气,在含湿量不变的条件下,对其加热使之温度升高,它就变成了未饱和空气,相反,在一定温度下的未饱和空气,在含湿量不变的条件下对其冷却使之温度降低。当达到某一温度时,它就会变成饱和空气。这就意味着在这个温度下,水蒸汽含量已达到最大限度值,该温度就称作空气的露点温度。如果温度再降低就会有水蒸汽不断地从空气中凝结出来。在日常生活中,常常见到冬季玻璃窗的玻璃内表面上有结露现象,夏季在自来水管外表面上有滴水现象等,均属物体表面的温度低于空气的露点温度所致。

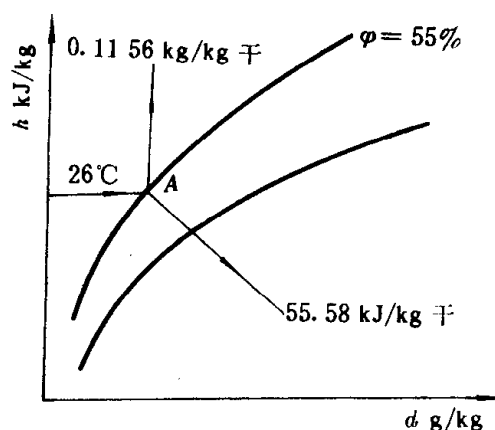


图 1-2 确定空气状态

露点温度在 $h-d$ 图上可以很方便地求得。如图 1-3 所示,图上 A 点处于未饱和空气状态,具有某一温度 t_A 和相对湿度 ϕ_A 。自 A 点作等含湿量冷却,即自 A 点沿垂直线向下,经冷却后的空气相对湿度增加,温度愈低相对湿度愈高。直到与饱和线 $\phi = 100\%$ 相交,表明达到极限值,该极限点称作露点 L ,与之相应的温度即为露点温度 t_L 。显然,露点温度与含湿量有关,含湿量大则露点温度高。含湿量相同的湿空气有相同的露点温度。

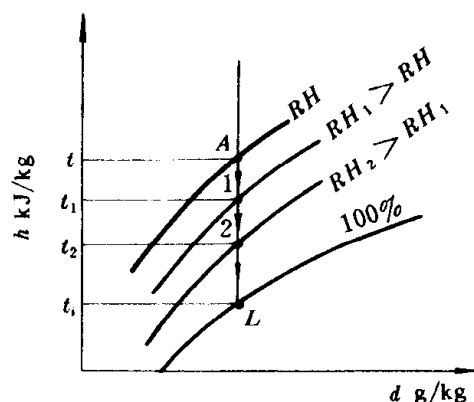


图 1-3 在 $h-d$ 图上表示露点温度

1.3.3 求空气的湿球温度

在空调工程中,广泛地应用干湿球温度计来测量空气的相对湿度,进而计算出其它参数。

干湿球温度计是由两根相同的温度计组成。参看图 1-4。其中一根的感温包裸露在被测的空气中,其读数为干球温度,就是我们通常讲的气温。另一根的感温包上裹以清洁的脱脂纱布,纱布的一端浸入盛蒸馏水的容器中,在毛细现象作用下,纱布被润湿,过了一段时间后这根温度计读数低于干球温度,包有湿纱布的温度计测得的温度称湿球温度。湿球温度也是空气的状态参数之一。

湿球温度怎么会低于干球温度?这就要从热湿交换原理来加以说明。湿包上湿纱布表面有一层饱和空气层,其温度为水温 t_w 。设水温 t_w 高于空气温度,而空气处于未饱和状态,纱布中的水份就会蒸发到空气中去。水分蒸发时要吸取热量,热量来自水本身,致使水温下降。当水温低于空气温度时,则其蒸发所需热量一部分来自空气,另一部分取自水本身,水温继续下降。在空气温度不变情况下,当空气传给水的热量等于纱布中水份蒸发所需的热量时,则达到热平衡。纱布上的

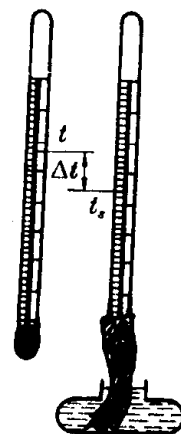


图 1-4 干湿球温度计