

高等职业院校“十二五”规划教材

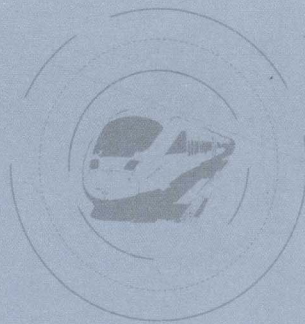
——机车车辆类

车辆空调装置 检修与维护

CHELIANG KONGTIAO ZHUANGZHI
JIANXIU YU WEIHU

主编◎曾青中 邓景山

主审◎吴海超



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

高等职业技

划教材——机车车辆类

内容简介

车辆空调装置检修与维护

主 编 曾青中 邓景山

主 审 吴海超

常州大学图书馆
藏书章

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

根据国家职业教育的要求和铁道机车车辆、铁道车辆及城市轨道交通车辆等专业人才培养的需要,本书从高等职业教育的角度介绍了空调与制冷的基本概念及工作原理,侧重介绍了车辆空调与制冷装置的结构与原理、安装与调试、维护与保养、检修及故障分析。全书共分九章,分别介绍了空气调节与制冷基本原理、制冷压缩机的结构和工作原理、制冷换热器及其他辅助设备、制冷自动化元件及阀件、铁路客车及城市轨道交通车辆空调与制冷装置、空气通风预热和加湿系统、空调与制冷装置的安装调试及操作、故障分析与检修、性能测试等内容。

本书为高等职业学校铁道机车车辆、铁道车辆及城市轨道交通车辆等专业教材,也可供从事铁路交通运输及城市轨道交通运输的管理人员、工程技术人员及大专院校和中等职业学校铁道机车车辆、铁道车辆及城市轨道交通车辆等专业师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

车辆空调装置检修与维护 / 曾青中, 邓景山主编.

—成都: 西南交通大学出版社, 2013.3

ISBN 978-7-5643-2220-5

I. ①车… II. ①曾…②邓… III. ①铁路车辆—空气调节设备—检修 IV. ①U270.38

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 040975 号

高等职业技术院校“十二五”规划教材——机车车辆类

车辆空调装置检修与维护

主编 曾青中 邓景山

*

责任编辑 王 旻

特邀编辑 王玉珂

封面设计 墨创文化

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都中铁二局永经堂印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 14

字数: 348 千字

2013 年 3 月第 1 版 2013 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-2220-5

定价: 28.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

随着我国经济的快速发展,人们生活质量的逐步提高,出门旅行的人数越来越多,人们对旅行所乘坐交通工具的舒适性要求也越来越高。为了满足广大旅客的需要,无论是长途旅客列车,还是近程的交通车辆,都把车辆客室内的空气调节作为提高旅客舒适度、改善乘车环境的主要手段。从技术角度来看,车辆的空气调节是车辆的一项极其关键的技术之一,是现代轨道交通车辆先进技术的重要体现。

车辆客室内的空气调节依靠车辆空调与制冷装置来完成。车辆空调与制冷装置是一个多专业的综合性产品,涉及工程热力学、传热学、流体力学等学科,牵涉机械、电气及控制、材料等领域,技术先进、复杂。车辆空调与制冷装置的正确安装、使用、维护和管理是车辆运用与检修人员的一项基本的、重要的工作。铁路客车与城轨车辆的空调与制冷装置有其相似之处,但因其运用环境的不一样,结构性能、参数等方面又体现出各自的特点,又因其技术和管理的理念不同,安装、使用、维护和管理方面有着较大的差别。

本书以空调与制冷基本原理为基础,取材于目前国内运营的先进的铁路客车、地铁和轻轨等轨道交通车辆,主要介绍了具有代表性的空调与制冷装置的结构、原理,体现了当今轨道交通车辆空调与制冷的技术水平。本书结合铁路客车和城轨车辆空调与制冷装置的运用,介绍了车辆空调与制冷装置的检查、维修和安装等实际操作方法和故障处理手段,符合现代职业教育理念,对现场作业也具有一定的指导作用。

在本书的编写过程中,充分结合了职业类学校学生的学习特点和职业岗位的实际需要,既简化了空调与制冷理论知识,避免了大量的理论推导和计算,又突出了必要的专业知识和日常检查、维修、安装等基本技能。

全书层次分明,内容简洁。为满足教学的需要,每章都配有小结和适量的思考练习题。

本书共9章,由广州铁路职业技术学院曾青中、广州地下铁道总公司邓景山主编,南京铁道职业技术学院吴海超主审。参加本书编写工作的有:广州铁路职业技术学院曾青中(绪论、第一章第三、四节),曹越(第一章第一、二节),袁泉(第二章),浙江师范大学交通学院王晓燕(第三、四章),广州地下铁道总公司邓景山(第五章),太原铁路机械学校原贻玲(第六、七、八章),郑州铁路职业技术学院韩增盛(第八、九章)。由于时间仓促及作者水平所限,书中可能有一些不妥之处,敬请同行、读者指正。

编 者

2013年1月

目 录

绪 论	1
第一节 客车空调与制冷装置的作用、分类和组成	1
第二节 我国铁路客车空调与制冷装置的发展	2
第三节 城市轨道车辆与铁路客车的空调与制冷装置比较	3
本章小结	6
思考与练习	6
第一章 空气调节与制冷原理基础知识	7
第一节 常用名词及概念	7
第二节 蒸气压缩式制冷原理	17
第三节 制 冷 剂	20
第四节 润 滑 油	33
本章小结	35
思考与练习	36
第二章 制冷压缩机	37
第一节 活塞式制冷压缩机	37
第二节 涡旋式制冷压缩机	47
第三节 螺杆式制冷压缩机	51
本章小结	57
思考与练习	58
第三章 制冷换热器及其他辅助设备	59
第一节 换热器的工作原理	59
第二节 冷 凝 器	61
第三节 蒸 发 器	64
第四节 其他辅助设备	65
本章小结	69
思考与练习	69
第四章 制冷自动化元件及阀门	70
第一节 节流机构	70
第二节 温度控制器	72
第三节 压力保护器	74
第四节 电 磁 阀	78
第五节 其他制冷阀门	79
本章小结	82
思考与练习	82

第五章 铁路及城轨车辆空调制冷装置	84
第一节 铁路客车空调制冷装置	84
第二节 城市轨道交通车辆空调与制冷装置	93
本章小结	105
思考与练习	106
第六章 通风系统、空气加热和加湿系统	107
第一节 通风系统概述	107
第二节 机械强迫式通风系统	109
第三节 空气加热装置	113
第四节 热泵与加湿器	116
本章小结	119
思考与练习	119
第七章 空调与制冷装置的安装调试及操作	120
第一节 制冷装置的安装和接管	120
第二节 制冷装置的检漏和充注制冷剂	127
第三节 制冷系统的试运转及调试	136
第四节 制冷系统的保养与维护	140
第五节 车辆空调机组的操作	150
第六节 通风系统的安装、调试及使用	152
本章小结	153
思考与练习	153
第八章 空调与制冷装置的故障分析与检修	155
第一节 制冷系统的启动故障	157
第二节 制冷系统的运转故障	160
第三节 车辆空调与制冷系统的正常工况和故障分析	163
第四节 全封闭活塞式制冷压缩机常见故障检查	173
第五节 旋转式制冷压缩机常见故障	175
第六节 螺杆式制冷压缩机常见故障	181
第七节 通风机的常见故障	184
本章小结	186
思考与练习	186
第九章 空气调节装置的性能测试	187
第一节 常用的测试仪表	187
第二节 客车空调与制冷装置的性能试验	207
第三节 城轨车辆空调装置的性能试验	213
本章小结	215
思考与练习	216
参考文献	217

绪 论

第一节 客车空调与制冷装置的作用、分类和组成

一、客车空调与制冷装置的作用和分类

空调与制冷装置被广泛应用于我国的工农业生产和人们的日常生活,对我国国民经济发展和人民物质文化生活水平提高具有重要意义。目前,它已被大量应用在轨道交通车辆上,车辆客室内的空气调节已经成为车辆舒适乘坐环境的标志。新型的铁路机车车辆和几乎所有的城市轨道交通车辆普遍使用了空调与制冷装置。

客车空调与制冷装置的作用是将一定量的车外新鲜空气和车内再循环空气混合,经过滤、冷却或加热、减湿或加湿等处理后,以一定的流速送入车内,并将车内一定量的污浊空气排出车外,从而控制客室内温度、湿度、风速、清洁度及噪声,并使之达到规定标准,以提高车内的舒适性,改善乘车环境。

客车空调与制冷装置按制冷压缩机的工作方式分为:活塞式、螺杆式和离心式;按安装方式分为:分装式和单元式;按客车空调供电方式分为:本车供电和集中式供电;还可以按使用制冷剂或其他特殊结构进行分类。

二、客车空调与制冷装置的组成

客车空调与制冷装置一般具备通风、制冷、加热、加湿等功能,典型客车空调与制冷装置由通风系统、空气冷却系统、空气加热系统、空气加湿系统以及自动控制系统等五大部分组成。

通风系统的作用是将车外新鲜空气吸入并与车内再循环空气混合,在滤清灰尘和杂质后,再压送分配到车内,同时排出车内多余的污浊空气,以保证车内空气的洁净度以及合理的流动速度和气流组织。通风系统一般由通风机组、空气过滤器、新风口、送风道、回风口、回风道以及排废气口等组成。

空气冷却系统(也称制冷系统)的作用是对车内的空气进行降温、减湿处理,使车内空气的温度与相对湿度保持在规定的范围内。冷却系统工作时,蒸发器将要送入车内的空气冷却,由于蒸发器表面的温度低于空气的露点温度,空气中的部分水蒸气就会凝结成水滴,形成我们通常所说的“空调水”。因此,空气在通过蒸发器冷却的同时也得到了减湿处理。为保证制冷系统安全、有效地工作,制冷系统除压缩机、蒸发器、冷凝器、节流装置四大件外,还配有贮液器、干燥过滤器、气液分离器等辅助设备。

空气加热系统的作用是在低温时对进入车内的空气进行预热和对车内的空气进行加热,以保证车内空气的温度在规定的范围内。在空气温度较低时,通风系统向车内送风过程中,由预热器对空气进行加热,然后再送入车内,而车内地面式加热器对车内空气加热,以补偿车体和门窗的热损失。空气加热系统通常包括空气预热器和地面空气加热器两部分。

空气加湿系统的作用是在车内空气相对湿度较低时,对空气进行加湿处理,以保证车内空气的相对湿度在规定的范围内。目前,我国在一般车辆的空调与制冷装置中不设加湿系统,仅在某些高级公务车及特殊要求的车辆上才设此系统。加湿最简单的方法是采用电极加湿器。

自动控制系统的的作用是控制各功能系统按给定的方案协调、有序地工作,以使车内的空气参数控制在规定的范围内,并同时空调与制冷装置起自动保护作用。电气控制系统一般由各设备的控制电器、保护元件以及相关仪表和电路等组成。

第二节 我国铁路客车空调与制冷装置的发展

早在 20 世纪 30 年代,铁路空调客车开始在一些工业发达国家出现,至 50 年代已经较大范围地采用,60 年代得到迅速发展,与此同时,空调与制冷装置的形式和用电方式也在不断更新。我国铁路从 50 年代开始生产空调客车,但发展速度较慢。1958 年,四方机车车辆厂设计了我国第一列铁路空调客车。1966—1968 年,四方机车车辆工厂又设计制造了中越联运 18 型空调软卧和硬卧客车。1976 年以后,为了满足旅游事业不断发展的需求,四方机车车辆工厂为“广九”铁路通车生产了“广九”空调客车。1980—1981 年,四方、长春、浦镇车辆工厂又分别试制了 25.5 m 干线空调客车。为了探求适应我国铁路客车空调与制冷装置的新形式,从 1980 年开始,长春客车厂引进和试制单元式空调机组,并把它确定为我国铁路客车空调与制冷装置的主导型,此后生产的铁路客车空调与制冷装置均采用了这种形式。随着我国经济的快速发展和市场的迫切需求,我国铁路空调客车发展迅速,1989 年我国利用日元贷款生产了 168 辆 25.5 m 新型集中供电空调客车(即 25A 型空调列车),被视为我国铁路空调客车发展史上的一个里程碑。它由长春客车厂、唐山机车车辆厂、浦镇车辆厂联合设计制造,在生产过程中大量使用新材料、新技术、新工艺和新结构。在运用过程中,采用全列集中供电,并于 1990 年 9 月投入运行。继 25A 型空调客车之后,我国又生产了 25G 型集中供电空调客车,在保证质量和性能的前提下,主要以降低材料成本为目的。1994 年前后,我国又研制了广深准高速铁路 25Z 型全列空调客车,这是一种高档、舒适、快捷的新型铁路空调客车。随着我国铁路跨越式发展,铁路列车全面大提速,空调客车占全国铁路客车保有量数的比例越来越大,从而把我国铁路空调客车的发展推进到一个新的历史时期。

我国铁路客车空调与制冷装置的发展和面临的问题:

从客车空调供电方式来看,客车空调经历了由本车供电向集中供电的转变。所谓本车供电指的是空调客车装置的用电由单车柴油发电机组供电。这种供电方式的特点是:电压制为 110 V,空调与制冷装置的使用不受整车电压的影响,列车编组较为灵活,但车内用电器的互换性较差,维修量大。而集中式供电是指全列车空调与制冷装置的用电由地面电站通过接触电网集中供电或由列车中编挂的发电车集中供电。这种供电方式的特点是:具有良好的机动性和适应性,不受机车牵引动力的限制;电压制为 380/220 V,车内设备可直接使用民用设备,便于维护和使用;

但柴油机使用的柴油消耗量大,运行成本较高,如呼和浩特铁路局包头到北京的 K263/264 次列车往返两趟需要消耗柴油 5 t 左右。另外柴油机的磨损较大,寿命较短,检修频繁。特别是整车用电对发电车的依赖性大,一旦发电车出现故障从列车中摘解后,将会对全列车的用电造成影响。尽管有以上的不足之处,但由于它无可比拟的优越性,列车集中供电仍然是铁路客车用电制的发展方向。

从空调机组安装来看,客车空调系统经历了由分装式空调机组向单元式空调机组的过渡。所谓分装式空调机组就是将制冷压缩机、冷凝器、冷凝风机、贮液器集中装在一个箱体中,并悬挂在车体底架下,而将蒸发器、通风机、膨胀阀、空气预热器等安装在车顶内部,用铜管将各设备连接起来,组成一个封闭的循环系统。送风道布置在车内顶棚中央,其上均匀地布置送风口。电器控制柜安装在乘务员室内。分装式空调机组多采用开启式压缩机或半封闭式压缩机。这种安装形式的特点是:车体重心降低,提高了列车运行的平稳性;但由于体积大,拆装和检修不方便,而且制冷管路长,接头多,容易漏泄,有色金属铜的使用量较大。单元式空调机组是把压缩机、冷凝器、节流装置、蒸发器、通风机、冷凝风机以及空气预热器等部件放置在一个箱体内,组成一个完整的单元,吊装在车体顶部。根据车型的不同,每辆车上使用一个或两个单元式空调机组。送风道布置在车顶棚的中央或两侧,电器控制柜安装在乘务员室内。单元式空调机组多采用全封闭式压缩机。这种安装形式结构紧凑,制冷量大,管路短不易泄漏,检修起来方便,不占用车下空间。所以,我国 1981 年以后生产的空调客车均采用此种形式。目前,单元式空调机组的主要形式是 KLD29 和 KLD40 型,它们的制冷量在设计条件下分别为 29 kW 和 40 kW,基本上能够满足我国空调客车的舒适性要求。但由于单元式空调机组吊装在车顶,致使车体钢结构的整体承载能力下降,提高了车辆的重心,降低了列车运行的平稳性。

从使用制冷剂的种类来看,目前铁路客车空调较普遍采用 R22,这是一种氟利昂系列的制冷剂,这类化合物的化学稳定性好,便于制造,成本低廉,具有理想的温度-压力性能。在氟利昂系列制冷剂中,不含氢的氟利昂称为氯氟化碳,是有公害物质,属于近期限制和禁止使用的范畴(如 R12);含氢的氟利昂称为氢氯氟化碳,是低公害物质,属于过渡性使用的范畴(如 R22)。国内地铁车辆已经开始采用非共沸混合制冷剂、共沸混合制冷剂等来替代氟利昂制冷剂。

从压缩机种类来看,客车空调系统使用的压缩机是全封闭式压缩机,这种压缩机结构紧凑,密封性好,体积小质量轻,电机能被制冷剂很好的冷却。但这种压缩机的缺点是不易拆卸,检修困难。全封闭式压缩机属于活塞式压缩机,尽管发展较早,技术较为成熟,但由于活塞式压缩机必须设吸、排气阀片,易损件较多,维修量大,而且输气量受活塞体积的限制,活塞往复运动产生的惯性力和振动比较大。旋转式压缩机具有结构简单、体积小、质量轻、容积效率高、运行平稳、噪音和振动小、可靠性强等优点,我国的铁路客车空调与制冷装置正向这方面发展。

第三节 城市轨道车辆与铁路客车的空调与制冷装置比较

近些年城市轨道交通迅速发展,车辆空调是改善车内乘车环境、满足乘客高舒适度要求、提高城轨车辆档次的重要手段。我国早期的地铁、轻轨车辆并无空调装置,只设通风系统,上海、广州等进口地铁车辆的空调系统属原装的,在运用中出现了不少问题,其根本原因在于这些空调系统不符合我国国情。在西欧、北欧国家,夏季气温普遍偏低,客流少,乘坐率低;而我国人口

众多、气温较高，这就是我国国情。目前我们有符合此实际而更易于实现的空调与制冷技术，就是借鉴我国现有的铁路客车空调技术。我国铁路客车空调装置已完全实现国产化，城市轨道车辆的空调装置国产化已在进行中。

城轨车辆空调与制冷装置和铁路客车在结构、原理等方面相似，但运营条件有所不同，其性能、参数也有所不同，控制系统也存在一定差异。

一、城市轨道车辆与铁路客车的空调与制冷装置使用环境比较

1. 轨道状况

铁路线路复杂，轨道状况不一，车辆振动较大，需要空调系统的耐振性好。城轨线路的轨道状况相对统一、稳定，车辆振动较小，空调系统较易满足要求。

2. 速度

铁路客车速度高，车辆倾摆较大，需要空调机耐倾摆性好。城轨车辆速度较低，最高速度 $\leq 120\text{ km/h}$ ，车辆倾摆较小，空调系统较易满足要求。

3. 气候环境

铁路客车运行线路贯穿我国南北东西，不同地带的气候环境差异较大，空调系统必须满足不同的气候条件。城轨车辆运营区域较小，其空调系统只要针对特定气候环境设计，即可满足要求。

4. 可靠性

铁路客车运行区间较长，进站段检修周期长，因此空调系统应具有较高的可靠性，以减少检修的次数。城轨车辆运行进站段周期较短，可以适当更换车辆，空调系统的可靠性不如铁路客车要求高。

5. 可用空间

铁路客车体积较大，可提供给空调系统较多的安装空间，空调系统易于布置。城轨车辆体积较小，而且客车本身需要携带动力、信号、控制系统等部件，能提供的空间有限，空调系统较难排布。

6. 线路环境

铁路客车主要运行于旷野中，只在城市部分区域穿行，所以给城市环境带来的影响相对较小。城轨车辆主要在城市里穿梭，给城市环境带来的影响较大。而且车辆本身使用了较多的电气、电子设备，增大了对周围环境的电磁干扰。

二、城轨车辆空调系统的特征

1. 空调机组

城轨车辆空调系统一般应达到小型轻量化、耐振性、阻燃性、水密性、可维护性（免维护性）、耐蚀性、电源协调使用等要求。

(1) 小型轻量化

小型轻量化是城轨车辆空调系统的显著特点。由于城轨车辆一般比铁路车辆小,高度低,运量大,而空调机通常置于车顶部,这样空调机体积重量就受到一定限制。近年来,国产地铁空调采用一系列新技术来缩小空调与制冷装置的体积。如:采用卧式涡旋式压缩机,换热器采用内螺纹管,以增强换热效果,减少换热器体积;采用带亲水膜轻质铝翅片,降低换热器质量,引进高效进口风机等,在保证流量、噪音等要求下,降低了体积及重量。

(2) 可靠性高

首先,抗振性能好。车辆在运行中会产生振动,因此车辆空调系统要具备足够的耐振性能。我国铁路标准 TB/T 1804—2003《铁道客车空调机组》对车辆空调设备提出了相应的抗振要求及试验标准,这个标准对城轨车辆空调系统应该是适用的。

其次,耐腐蚀性好。现在城市的污染程度较大,尤其是沿海城市的盐雾影响,对空调机组的暴露部件(如电机、换热器壳体等)的耐腐蚀性要求较高,须采用一系列的保护措施,如采用防护等级较高的电机,并在电机外部配合处增加电机防护技术措施,在换热器上采用耐酸、碱、盐雾腐蚀的覆膜铝翅片,并采用不锈钢板材制造空调机壳体,防止腐蚀,延长空调机组的使用寿命。

(3) 免维护程度高

安装于车辆上的空调机并不能像地面制冷机组那样,可以给检修、维护人员一个易于检视的环境和空间。根据铁路客车空调的使用经验,在条件允许的情况下空调系统尽量使用单元式、全封闭式制冷循环系统,并提高免维护的元件使用率。

2. 空调控制器

空调控制器控制空调机正常运行,是空调机组的重要组成部分。它在车辆上的使用关键是可靠性、可触及性、自动化程度及电磁兼容性。

(1) 可靠性

目前,车辆空调控制器的关键元件采用的是质量较好的进口元件或合资工厂生产的元件,降低了元件的故障率。电路设计经过大量的实际运行验证,可靠性较高。

(2) 可触及性

由于空调控制器元件动作较频繁,并有较多的空调机组保护元件,其维护量较大。在空调机组检修中,还要观察控制器整体的动作情况,以便判明故障原因。因此空调控制器要尽可能布置在检修人员易于触及、易于观察的地方,否则,就会给空调机组的维护、检修带来麻烦。

(3) 自动化程度

城轨车辆与铁路客车运行及人员配置情况不同。在城轨车辆运行中不配制车辆设备巡检员,这就要求城轨车辆空调系统自动化程度高,能够在出现问题时自动处理,如对非故障问题有自我保护及自我恢复能力,对故障能够自我诊断及自动存储,以便车辆进站后,能够及时修复。

上海明珠线司机室空调、大连有轨电车空调系统、北京地铁空调系统、国产化地铁空调系统等都采用了微处理器控制。该控制系统能够对偶发性非故障现象进行自我判断,对于实际故障能够诊断记录,可通过手提电脑进行手动调试。该控制器还可以进行通讯,实现上位机的集中控制功能。

(4) 电磁兼容性

车辆的自动化程度越高,车辆设备及信号控制系统电磁环境越复杂。因此空调自动控制器要

在预期的电磁环境中能正常工作，且无性能降低或故障。

3. 通风系统

经空调机组处理后的空气通过通风系统送入车内，并保持车内送风均匀，它是车辆空气调节的重要组成部分。目前，我国铁路客车普遍采用静压风道，该风道能够降低噪音，使送风均匀。

目前地铁车辆一般设置废排口，尤其在车辆乘客多的情况下，通过车门开闭不能完全置换车内空气，有必要设置废排口。这样的好处：① 直接将拥挤人群下部散发的热量通过废排口排出，减少上涌热气流对空调系统送出的有效空气的干扰；② 冬季有利于热气流下沉；③ 使乘客感受更多的清新空气。

本章小结

本章需掌握的内容有以下几个方面：

- 空气制冷技术的作用、分类和组成；
- 空调制冷装置在铁路客车和城市轨道交通车辆上的运用和发展情况；
- 铁路客车和城市轨道交通车辆空调与制冷装置使用条件和性能对比。

思考与练习

1. 空气调节的现实意义是什么？
2. 客车空调与制冷装置的作用是什么？
3. 空调与制冷装置如何分类？
4. 空调与制冷装置由哪些部分组成？
5. 我国客车空调与制冷装置的发展状况如何？
6. 城轨车辆和铁路客车空调与制冷装置的使用和性能有何不同？

第一章 空气调节与制冷原理基础知识

第一节 常用名词及概念

一、空气的组成及其主要状态参数

在热工学中，我们把含有水蒸气的空气叫做湿空气。在大气中永远包含一定量的水蒸气，所以绝对干的空气在自然界中是不存在的。而在一般空调研究中，把干空气作为一个整体，对它的组成成分不作详细讨论，因此，我们就可认为：

$$\text{湿空气} = \text{干空气} + \text{水蒸气}$$

空调就是空气调节，也就是将外界空气（湿空气）经过一定的处理并用一定的方式送入室内，使室内空气的温度、相对湿度、气流速度和洁净度等控制在一定范围内。湿空气是空气调节的对象，湿空气的状态通常用压力、温度、相对湿度、含湿量及焓等参数来度量和描述，这些参数称为湿空气的状态参数。因此，首先要对湿空气的状态参数，如压力、温度、湿度和焓等有所了解。

1. 压 力

地球表面的大气层对单位地球表面所形成的压力称为大气压力。空气对容器壁面的实际压力称为绝对压力。在空调系统中，空气的压力是用仪表测出的，仪表上指示的压力称为工作压力，它是以当地大气压作为参考点，所测得的工作压力就不是绝对压力，而是绝对压力与当时当地大气压的差值，也称为表压力。压力的单位用帕（Pa）或千帕（kPa）表示。

工作压力与绝对压力的关系为：

$$\text{绝对压力} = \text{当地压力} + \text{工作压力}$$

只有绝对压力才是湿空气的状态参数。凡未指明是工作压力的，均应理解为绝对压力。由上所述的湿空气是由干空气和水蒸气所组成的混合气体，所以湿空气的压力即为干空气分压力 p_g 与水蒸气的分压力 p_s 之和，即：

$$p = p_g + p_s \quad (1.1)$$

在空调工程中所处理的湿空气就是大气，所谓湿空气的总压力 p 就是当地的大气压 p_b ，即：

$$p_b = p_g + p_s \quad (1.2)$$

为了对湿空气的压力，特别是对其中水蒸气的分压力有进一步的认识，必须了解饱和空气和未饱和空气的概念。

饱和空气：在一定的温度条件下，空气中水蒸气分子的含量越多，水蒸气的分压力就越大。如果空气中水蒸气的含量超过某一含量时，空气中就有水析出。这说明在一定温度条件下，湿空气中容纳的水蒸气的数量是有一个最大限度的。也就是说，湿空气中水蒸气分压力有一个最大值，这个最大值就称为该温度下的饱和水蒸气分压力 p_{sb} 。在大气中，如从水蒸发为汽的数量与空气中水蒸气凝结为水的数量相等，此时大气中所含的水蒸气数量达到最大限度，即水蒸气处于饱和状态。这种湿空气就是干空气和饱和水蒸气的混合物，称为饱和空气。

未饱和空气：若湿空气中水蒸气的分压力低于其相同温度下饱和空气的水蒸气分压力，这时的水蒸气就处于过热状态，这种湿空气就是干空气和过热水蒸气的混合物，称为未饱和空气。由此可见，在一定温度条件下，湿空气中水蒸气分压力的大小，是衡量水蒸气含量即空气干燥或潮湿的指标。温度相同的情况下，水蒸气分压力越高，说明空气中水蒸气的含量就越多；水蒸气含量相同的情况下，温度越高，水蒸气的分压力就越大。

2. 温 度

空气的温度是表示空气冷热程度的物理量，它是分子动能的宏观结果。温度的高低用“温标”来衡量，目前常用的温标有绝对温标、摄氏温标和华氏温标。

绝对温标也称热力学温标或开尔文温标，简称开氏温标，符号为 T ，单位为 K 。这种温标以气体分子热运动的平均动能（分子的移动动能，转动动能和振动动能）趋于零的温度为起点，定为 $0 K$ ，即绝对零度。三种温标的换算关系为：

$$T = t + 273.15 \approx t + 273 \quad (K) \quad (1.3)$$

$$t = 5/9(t_F - 32) \quad (^\circ C) \quad (1.4)$$

式中 T ——绝对温度， K ；

t ——摄氏温度， $^\circ C$ ；

t_F ——华氏温度， $^\circ F$ 。

温度是空气调节中的一个重要参数。当空气受热后，其内部分子动能增大，空气则表现为温度升高。湿空气是干空气和水蒸气的混合物，所以湿空气的温度就是干空气的温度，也是水蒸气的温度，即：

$$T = T_g = T_q \quad (1.5)$$

3. 湿 度

湿度是表示空气中所含水蒸气量多少的物理量。根据用途，湿度可用以下几种方法表示。

(1) 绝对湿度

每立方米湿空气中所含有的水蒸气质量，称为湿空气的绝对湿度，用 ρ_v 表示。

绝对湿度只能说明湿空气在某一温度下所含水蒸气的质量，不能直接反映湿空气的干、湿程度。水蒸气的饱和程度与温度有关，温度低，水蒸气易达到饱和点；温度高，则饱和点也高。因此，同一绝对湿度的空气在不同的温度下其吸收水分的能力是不同的，故在空气调节中常采用相对湿度和含湿量来表示湿空气的湿度。

(2) 相对湿度

相对湿度是空气中水蒸气分压力与同温度下饱和水蒸气分压力之比, 用符号 φ 表示, 即:

$$\varphi = \frac{\rho_v}{\rho_{v \max}} = \frac{\rho_v}{\rho_v''} \quad (1.6)$$

式中 ρ_v —— 湿空气的绝对湿度;

ρ_v'' —— 干饱和蒸汽的密度。

从式 (1.6) 可看出, 相对湿度反映了湿空气中所含水蒸气的量接近饱和的程度, 相对湿度越小, 说明空气越干燥, 吸湿能力越强; 反之, 相对湿度越大, 说明空气越潮湿, 空气的吸湿能力越弱。当相对湿度为 100% 时, 指的是饱和湿空气; 反之, 相对湿度值为 0 时, 指的是干空气。故相对湿度亦可称为饱和度。

(3) 含湿量

在空调工程中, 调节湿空气中水蒸气的含量是经常要遇到的问题。但用什么样的数值来表达水蒸气的含量最为方便呢? 若以单位体积即绝对湿度来表示, 由于空气温度的变化, 其体积也随之而变化, 虽然其中水蒸气的绝对含量不变, 但单位体积即每立方米体积内含有的水蒸气量相应地发生了变化, 绝对湿度的数值也就不同了; 若用单位质量即 1 kg 湿空气中所带有水蒸气量来表示, 虽然没有随着空气温度变化的问题, 但湿空气在其状态变化过程中, 由于水分的蒸发或水蒸气的凝结, 不仅水蒸气的含量发生了变化, 而且因为 $m = m_a + m_q$, 湿空气以体积或质量作为标准, 都会给计算带来麻烦。但可以看到, 无论湿空气的状态如何变化, 其中干空气的质量总是不变的。为了计算方便, 就采用 1 kg 干空气作为计算的标准。

随 1 kg 干空气同时存在的水蒸气质量 (g), 称为湿空气的含量, 用符号 d 来表示, 即:

$$d = \frac{m_v}{m_a} \quad (\text{g/kg, 干空气}) \quad (1.7)$$

式中 m_v —— 水蒸气质量;

m_a —— 干空气质量。

要注意: 这里是以 1 kg 干空气作为标准, 而非为 1 kg 的湿空气, 湿空气的质量应是 $(1 + d/1000)$ kg。

相对湿度和含湿量都是表示空气湿度的参数, 但意义却不相同。相对湿度能表示空气接近饱和的程度, 却不能表示水蒸气的含量多少; 而含湿量能表示水蒸气的含量多少, 却不能表示空气接近饱和的程度。

4. 焓

在空调工程中, 湿空气的状态经常发生变化, 也经常需要确定此状态变化过程中的热交换量。例如, 对空气进行加热和冷却时, 常需要确定空气吸收或放出多少热量。湿空气的焓是以 1 kg 干空气作为计算基础的。含有 1 kg 干空气的湿空气即 $(1 + d/1000)$ kg 湿空气的焓 h , 是 1 kg 干空气的焓 h_a 和 d (g) 水蒸气的焓 h_q 的总和, 即:

$$h = h_a + 0.001d \times h_q \quad (1.8)$$

从热工学的基础知道, 在压力不变的情况下, 焓差值等于热交换量。而空调工程中对空气加热或冷却都是在定压条件下进行的, 故空气定压过程中热量的变化量等于空气状态变化前后的焓差, 即:

$$q = h_2 - h_1 \quad (1.9)$$

二、湿空气的焓湿图

空气的主要状态参数包括 t 、 d 、 B 、 ϕ 、 h 、 p (B 为大气压力)。在空调工程中, 为了避免烦琐的公式计算, 在设计和运行时需要有一个线算图, 它既能联系以上 6 个参数, 又能表达空气状态的各种变化过程, 这就是本节要介绍的焓湿图。

线算图有各种形式, 我国现在使用的是以焓和含湿量为纵横坐标的焓湿图, 也叫 h - d 图, 如图 1.1 所示。为了更好地掌握和运用它, 下面先介绍该图的绘制过程。

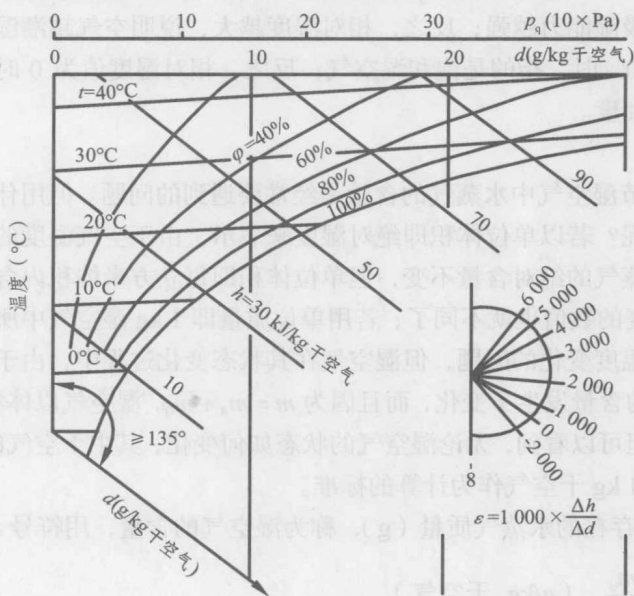


图 1.1 湿空气的 h - d 图

一般平面图形只能有两个独立的坐标。而湿空气的状态取决于 t 、 d 、 B 三个基本参数, 因而应该有三个独立的坐标。然而可以选定大气压力 B 为已知 (在空气调节中, 空气的变化过程可以认为是在一定大气压力下进行的), 这样, 只剩下 t 、 d 两个坐标参数, 就可以进行图形绘制了。但是, 因焓 h 与温度有关, 为了便于使用, 用焓 h 代替温度 t 。因此, 选定焓 h 为纵坐标, 以含湿量 d 为横坐标建立坐标系。为使图面展开, 线条清晰, 两坐标轴之间的夹角由常用的 90° 扩展为大于或等于 135° 。为了避免图面过长, 又常取一水平线画在图的上方代替实际的 d 轴。

1. 等焓线和等含湿量线

确定坐标比例尺之后, 就可以在图上绘出一系列与纵坐标平行的等 d 线及与横坐标平行的等 h 线。 $t = 0$ 和 $d = 0$ 的干空气状态点为坐标原点。

2. 等温线

等温线是根据公式

$$h = 1.005t + d \times (2501 + 1.86t) \quad (1.10)$$

制作而成的。由此可见, 当温度等于常数时, 公式为直线方程, h 、 d 相对应, 因此, 只需已知两

个点即可绘出等温线。若温度常数值分别为 -5 、 0 、 10 、 20 $^{\circ}\text{C}$...时, 则得到一系列对应的等温线。

显然, 等温线为一组不平行的直线。公式中 $1.01t$ 为截距, $(2500 + 1.84t)$ 为斜率, 由于 t 值不同, 因而每一等温线的斜率是不相同的。但是, 由于 $1.84t$ 远小于 2500 , 温度对斜率的影响不明显, 因此, 等温线又近似平行直线。

3. 等相对湿度线

根据公式

$$d = 0.622 \frac{\varphi p_s}{p - \varphi p_s} \quad (1.11)$$

可以绘出等相对湿度线。在一定的大气压力 p 下, 当相对湿度 φ 为常数时, 含湿量 d 就取决于 p_s , 而 p_s 又是温度 t 的单值函数, 其值可从水蒸气性质表中查出。因此, 给定不同的温度 t , 可求得对应的 d 值, 根据 t 、 d 值, 就可以在 h - d 图中找出若干点, 连接各点即成等 φ 线。等 φ 线是一组发散形曲线。 $\varphi = 0\%$ 的等 φ 线即是纵轴线, $\varphi = 100\%$ 的是饱和湿度线。公式表明, 等 φ 线为曲线, 因此, 对应点取得越多, 曲线就越准确。

以 $\varphi = 100\%$ 线为界 (见图 1.2), 曲线以下为过饱和区, 由于过饱和状态是不稳定的, 通常有凝结现象, 所以又称为“有雾区”; 曲线以上为湿空气区, 又称为“未饱和区”。在湿空气区, 水蒸气处于过热状态。

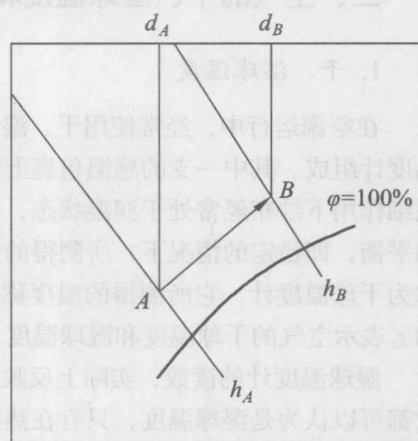


图 1.2 空气状态在 h - d 图上的表示

4. 水蒸气分压力线

公式 (1.11) 可变换为:

$$p_s = \frac{pd}{(0.622 + d)\varphi} \quad (1.12)$$

当大气压力 p 为定值时, 式 (1.12) 为 $p_s = f(d)$ 的函数形式, 水蒸气分压力 p_s 仅取决于含湿量 d 。因此, 可在 d 轴的上方设一水平线, 标上 d 值所对应的 p_s 值即可。

5. 热湿比线

在空调过程中, 被处理的空气常常由一个状态变为另一个状态。在整个过程中, 如果空气的热湿变化是同时进行的, 那么, 在 h - d 图上由状态 A 到状态 B 的直线连线就代表空气状态变化过程线, 如图 1.2 所示。为了说明空气状态变化的方向和特征, 常用状态变化前后焓差和含湿量差的比值来表示, 称为热湿比 ε , 即:

$$\varepsilon = \frac{h_B - h_A}{d_B - d_A} = \frac{\Delta h}{\Delta d} \quad (1.13)$$

将式 (1.13) 的分子、分母同乘以总空气量 G , 将得到:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{\Delta d} = \frac{G \cdot \Delta h}{G \cdot \Delta d} = Q/W \quad (1.14)$$