



普通高等教育“十二五”规划教材

建筑环境与设备工程概论

刘丽莘 张淑秘 主 编
徐 硕 马利平 赵 麒 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

013026468

TU-023
24



普通高等教育“十二五”规划教材

建筑环境与设备工程概论

主 编 刘丽莘 张淑秘
副主编 徐 硕 马利平 赵 麒
编 写 安笑媛 宋杨杰 齐海英 马利英
主 审 张治江



北航

C1633895



中国电力出版社

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

TU-023
24

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材，全书共七章，主要包括流体力学、工程热力学和传热学的基本知识，建筑环境，建筑给排水工程，供热与供燃气，建筑通风及空气调节系统，冷热源，建筑电气等基本理论和实用技术等。

本书采用最新规范和标准编写，对建筑环境与设备工程知识进行精简，内容详略得当，图文并茂。

本书可作为普通高等院校建筑环境与设备工程、土木工程及相关专业的教材，也可作为从事建筑行业的工程技术人员参考和培训用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑环境与设备工程概论/刘丽莘, 张淑秘主编. —北京:
中国电力出版社, 2012. 12

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-3841-8

I. ①建… II. ①刘…②张… III. ①建筑工程-环境管理-
高等学校-教材②房屋建筑设备-高等学校-教材 IV. ①TU-
023②TU8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 298645 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 2 月第一版 2013 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 16.5 印张 404 千字

定价 30.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

近年来随着人民生活水平的不断提高和科学技术的迅猛发展,建筑环境与设备工程涉及的领域也不断拓宽,出现了许多新标准、新产品、新技术。这就要求从事土木工程、建筑工程、建筑电气工程、建筑管理工程、室内设计等相关技术人员掌握一定的建筑环境与设备的基础知识和实用技术,才能在设计 and 施工过程中有良好的配合,既不影响建筑的美观,又能达到理想的使用效果。本书简明介绍了建筑环境与设备工程专业所涉及的流体力学、工程热力学、传热学的基础知识,重点介绍了建筑环境、给排水、消防、热水供应、供热供燃气、通风空调、冷热源、建筑电气等建筑设备的原理、实用技术、施工方法,深入浅出,使各专业技术人员更好地理解和掌握。

本书推荐学时为 30~60 学时,各专业可以根据本专业人才培养方案及专业特点选取相关内容。

本书由长春工程学院刘丽莘、长春建筑学院张淑秘主编,第一、二章由马利平、马利英编写,第三章由刘丽莘、安笑媛编写,第四章由徐硕编写,第五章由张淑秘、宋杨杰编写,第六章由赵麒编写,第七章由齐海英编写,全书由张治江教授审阅。

本书在编写过程中得到了许多专家的指导和帮助,在此表示衷心的感谢!由于编者水平,难免出现纰漏之处,望同行和读者指正。

编 者

2012.10



目 录

前言

第一章 基础知识	1
第一节 流体力学基本知识.....	1
第二节 工程热力学基本知识.....	6
第三节 传热学基本知识	13
第二章 建筑环境	20
第一节 建筑外环境	20
第二节 室内空气品质	22
第三节 建筑环境中的热湿环境	24
第四节 建筑声环境	26
第五节 建筑光环境	28
第三章 建筑给排水工程	31
第一节 建筑给水工程	31
第二节 建筑给排水常用管道、器材和卫生器具	47
第三节 建筑消防给水系统	57
第四节 建筑热水供应	70
第五节 给水系统与建筑的配合	73
第六节 建筑排水工程	74
第七节 排水管道的布置、敷设与安装	77
第八节 屋面排水	80
第九节 建筑排水设计举例	82
第四章 供热与供燃气	86
第一节 室内供暖系统的设计热负荷	86
第二节 室内供暖系统的末端装置	98
第三节 室内热水供暖系统.....	106
第四节 室内蒸汽供暖系统.....	111
第五节 室内供暖系统的水力计算.....	116
第六节 城镇燃气及其质量标准.....	121
第七节 城镇燃气用气负荷.....	122
第八节 燃气输配系统.....	123
第五章 建筑通风及空气调节系统	124
第一节 建筑通风.....	124
第二节 高层建筑的防火排烟.....	135
第三节 空气调节系统.....	141

第四节 通风与空气调节系统施工图.....	156
第六章 冷热源.....	161
第一节 空调冷热源.....	161
第二节 热源.....	175
第三节 制冷剂与冷热媒（工质与水系统）.....	200
第四节 冷热源设计及实例.....	206
第七章 建筑电气基本知识.....	210
第一节 建筑电气概述.....	210
第二节 建筑供配电系统.....	216
第三节 电气照明.....	244
第四节 接地与防雷.....	250
参考文献.....	258

第一章 基础知识

第一节 流体力学基本知识

流体力学是研究流体在静止与运动状态下的力学规律及其在工程中应用的科学。

一、流体的定义

具有流动性的物体是流体。自然界物质存在的主要形态有固体、液体和气体三种形态，其中液体和气体统称为流体。

1. 流体与固体的区别

固体静止时既能承受压力，也能承受拉力与剪切力，流体只能承受压力，一般不能承受拉力，任何一个微小的剪切力都能使流体发生连续的变形。

2. 液体与气体的区别

液体的流动性小于气体，气体易于压缩，而液体难于压缩；液体具有一定的体积，并取容器的形状，存在一个自由液面；气体充满任何容器，无一定体积，不存在自由液面。

3. 液体与气体的共同点

两者均具有易流动性，即在任何微小切应力作用下都会发生连续变形或流动，故二者统称为流体。

二、流体的主要物理性质

1. 流动性

流动性是指在任意微小剪切力作用下会发生连续变形的特性。流动性是区别流体和固体的基本力学特征，是便于用管道、渠道进行输送，适宜作供热、供冷等工作介质的主要原因。

2. 质量密度

单位体积流体的质量称为流体的密度，即 $\rho = m/v$ 。

3. 黏性

表明流体流动时产生内摩擦力阻碍流体质点或流层间相对运动的特性称为黏性，内摩擦力称为黏滞力。黏性是流动性的反面，流体的黏性越大，其流动性越小。平板间液体速度变化如图 1-1 所示。实际流体在管内的速度分布如图 1-2 所示。

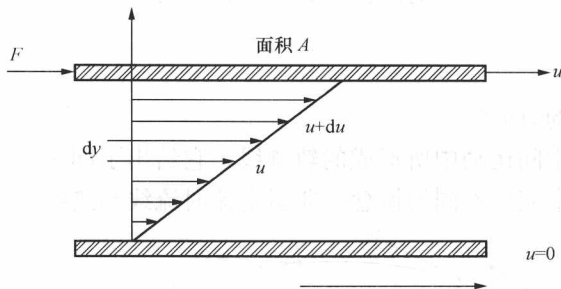


图 1-1 平板间液体速度变化

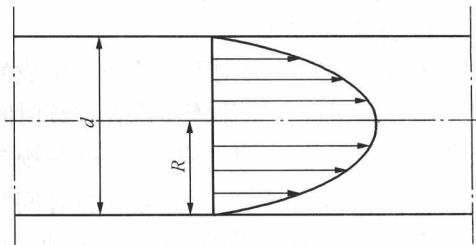


图 1-2 实际流体在管内的速度分布

实验证明,对于一定的流体,内摩擦力 F 与两流体层的速度差 du 成正比,与两层之间的垂直距离 dy 成反比,与两层间的接触面积 A 成正比,即

$$F = \mu A du/dy \quad (1-1)$$

通常情况下,单位面积上的内摩擦力称为剪应力,以 τ 表示,单位为 Pa,则式 (1-1) 变为

$$\tau = \mu du/dy \quad (1-2)$$

式 (1-1)、式 (1-2) 称为牛顿黏性定律,表明流体层间的内摩擦力或剪应力与法向速度梯度成正比。

4. 压缩性和膨胀性

流体体积随着压力的增大而缩小的性质,称为流体的压缩性。流体体积随着温度的增大而增大的性质,称为流体的膨胀性。液体是不可压缩流体,液体具有膨胀性;气体具有显著的压缩性和膨胀性。

5. 静压力与静压强

处于相对静止状态下的流体,由于本身的重力或其他外力的作用,在流体内部及流体与容器壁面之间存在着垂直于接触面的作用力,这种作用力称为静压力。

单位面积上流体的静压力称为流体的静压强。

若流体的密度为 ρ ,则液柱高度 h 与压力 p 的关系为

$$p = \rho gh \quad (1-3)$$

6. 绝对压力、表压强和大气压强

以绝对真空为基准测得的压力称为绝对压力,它是流体的真实压力;以大气压为基准测得的压力称为表压或真空度、相对压力,它是在把大气压强视为零压强的基础上得出来的。绝对压强是以绝对真空状态下的压强(绝对零压强)为基准计量的压强;表压强简称表压,是指以当时当地大气压为起点计算的压强;它们的关系可以用下式和图 1-3 表示。

$$\text{绝对压强} = \text{大气压强} + \text{表压强}$$

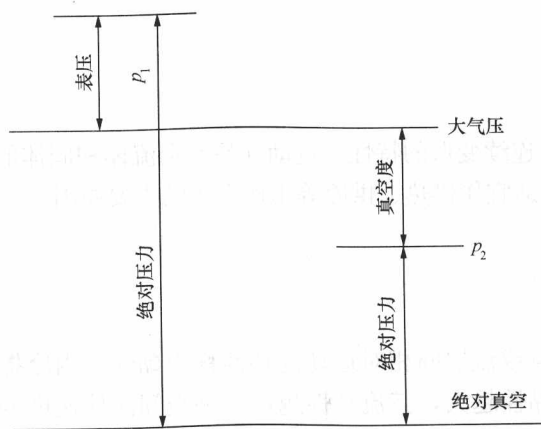


图 1-3 绝对压力、表压强与真空度的关系

三、流体运动的基本概念

1. 流线和迹线

流线是指同一时刻不同质点所组成的运动的方向线。

迹线是指同一个流体质点在连续时间内在空间运动中所形成的轨迹线,它给出了同一质点在不同时间的速度的方向。流线与迹线是两个完全不同的概念。非恒定流时流线与迹线不重合;在恒定流中,流线不随时间变化,流线上的质点继续沿流线运动,此时,流线与迹线在几何上是一致的,两者重合,如图 1-4 所示。

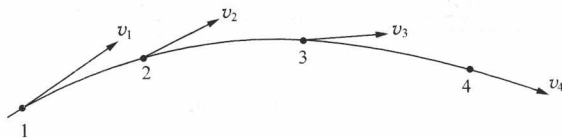


图 1-4 流线和迹线

2. 流管、过流断面、元流和总流

在流场内作一非流线且不自闭相交的封闭曲线，在某一瞬时通过该曲线上各点的流线构成一个管状表面，称流管。

在流体中取一封闭垂直于流向的平面，在其中划出极微小面积，则其微小面积的周边上各点都和流线正交，这一横断面称为过流断面（图 1-5）。

若流管的横截面无限小，则称其为流管元，亦称为元流。

流体运动时，过流断面内所有元流的总和称为总流。

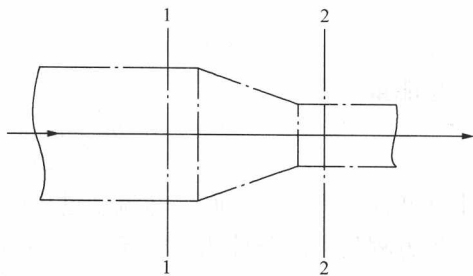


图 1-5 过流断面图

3. 流量

流体流动时，单位时间内通过过流断面的流体体积称为流体的体积流量，一般用 q_v 表示，单位为 L/s 或 m^3/h 。

单位时间内流经管道任意截面的流体质量，称为质量流量，以 q_m 表示，单位为 kg/s 或 kg/h 。

体积流量与质量流量的关系为

$$q_m = q_v \rho \quad (1-4)$$

体积流量、过流断面面积 A 与流速 u 之间的关系为

$$q_v = Au \quad (1-5)$$

四、流体运动的分类

1. 根据流动要素（流速与压强）与流动时间来进行分类

(1) 恒定流。流场中各空间点的运动要素（速度、压强、密度）皆不随时间变化的流动称为恒定流。

(2) 非恒定流。流场中各空间点的运动要素（速度、压强、密度）随时间变化而变动的流动称为非恒定流。

2. 根据流体流速的变化来进行分类

(1) 均匀流。在给定的某一时刻，各点速度都不随位置而变化的流体运动称为均匀流。

(2) 非均匀流。流体中相应点流速不相等的流体运动称为非均匀流。

3. 按液流运动接触的壁面情况分类

(1) 有压流。流体过流断面的周界为壁面包围，没有自由面者称为有压流或压力流。一般供水、供热管道均为有压流。

(2) 无压流。流体过流断面的壁和底均为壁面包围，但有自由液面者称为无压流或重力流，如河流、明渠排水管网系统等。

五、几个基本方程

1. 连续性方程

过流断面： $A_1, A_2, \dots$

对应平均流速： $v_1, v_2, \dots$

质量守恒定律： $\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2 = \rho v A$

对不可压缩流体: $\rho_1 = \rho_2 = \rho$

适用条件: 恒定不可压缩流体

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 = v A = Q \quad (1-6)$$

2. 恒定总流能量方程

总能量方程为

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{1-2} \quad (1-7)$$

其中从断面 1—1 到断面 2—2 流动过程中损失为 h_{1-2} 。

该方程的适用条件为: 恒定流; 不可压缩流体; 断面为渐变流断面; 无能量输入或输出。连续性方程和能量方程解决流速、压强的计算问题。

六、沿程损失和局部损失

1. 流动阻力和能量损失的分类

(1) 沿程阻力: 沿程能量损失 (沿程水头损失), 指发生在均匀流 (缓变流) 整个流程中的能量损失, 由流体的沿程摩擦阻力造成的损失。

(2) 局部阻力: 局部能量损失 (局部水头损失), 发生在流动状态急剧变化的急变流中的能量损失, 即在管件附近的局部范围内主要由流体微团的碰撞、流体中产生的漩涡等造成的损失。

2. 能量损失的计算公式

$$\text{沿程水头损失} \quad h_f = \lambda \frac{l}{d} \times \frac{v^2}{2g} \quad (1-8)$$

式中 h_f ——单位重力流体的沿程能量损失, m;

λ ——沿程损失系数;

l ——管道长度, m;

d ——管道内径, m;

$\frac{v^2}{2g}$ ——单位重力流体的动压头 (速度水头), m。

$$\text{局部水头损失} \quad h_m = \xi \frac{v^2}{2g} \quad (1-9)$$

式中 h_m ——单位重力流体的局部能量损失, m;

ξ ——局部损失系数;

$\frac{v^2}{2g}$ ——单位重力流体的动压头 (速度水头), m。

3. 总能量损失

整个管道的能量损失是分段计算出的能量损失的叠加。

$$h_{1-2} = \sum h_f + \sum h_m \quad (1-10)$$

在给采暖工程、给排水、空调水系统、风系统的水力计算中, 确定管路系统中流体的水头损失是进行工程计算的重要内容之一, 也是对工程中有关的风机、水泵等动力设备和管路管径进行选择的重要依据。

七、层流与紊流、雷诺数

流体在流动过程中, 呈现出两种不同的流动形态——层流和紊流。

1. 雷诺实验实验装置

图 1-6 (a) 所示为一玻璃管中水的流动。雷诺氏用无因次量纲分析方法得到无因次量——雷诺数来判断流动形态。

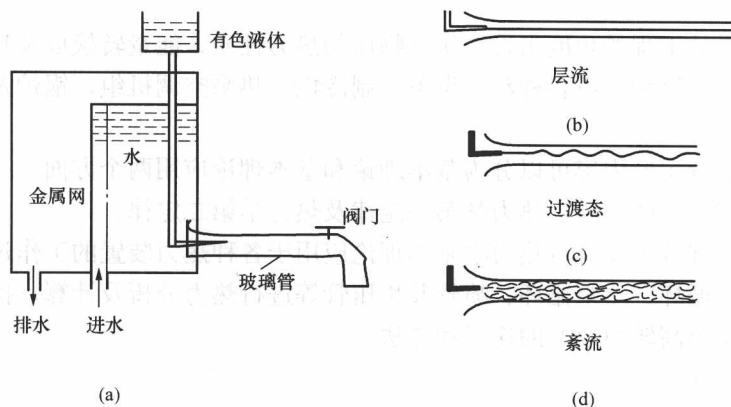


图 1-6 管中液流的流动形态

实验现象:

若不断投加红颜色水于液体中,当液体流速较低时,将看到玻璃管内有股红色水流的细流,像一条线一样,如图 1-6 (b) 所示,水流是成层成束流动,各流层间并无质点的掺混现象,这种水流形态成为层流。如果加大管中水的流速,红颜色的水随之开始动荡,成波浪形,此时为过渡状态,如图 1-6 (c) 所示。继续加大流速,将出现红色水向四周扩散,质点或液团相互掺混,流速越大,掺混程度越剧烈,这种水流形态为紊流,如图 1-6 (d) 所示。

2. 沿程损失与流动状态

沿程损失与流动状态有关,故计算各种流体通道的沿程损失,必须首先判别流体的流动状态。

3. 流态的判别准则——临界雷诺数

雷诺数计算

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} = \frac{v d}{\nu} \quad (1-11)$$

工程上常用的圆管临界雷诺数

层流: $Re < 2000$;

紊流: $Re > 2000$ 。

(1) 当 $Re < 2000$ 时,流体处于层流区。

(2) 当 $2000 < Re < 4000$ 时,流体层流转变为紊流的过渡区。

(3) 当 $Re > 4000$ 时,流体处于紊流区,此区的流动又可分为以下三个流区。

1) 水力光滑区。当 $Re > 4000$ 时,沿程阻力系数 λ 与 Re 有关,而与相对粗糙度无关。

2) 水力过渡区。接与水力光滑区之后,此区的沿程阻力系数与雷诺数及相对粗糙度有关。

3) 阻力平方区。当雷诺数 Re 增加到相当大的时候,此区的沿程阻力系数仅与相对粗糙

度有关,此区的流动阻力与流速平方成正比,故称为阻力平方区。

第二节 工程热力学基本知识

工程热力学是从工程的角度出发,研究物质的热力性质、能量转换以及热能的直接利用等问题。它是设计计算和分析各种动力设备、制冷机、热泵空调机组、锅炉及各种热交换器的理论基础。

工程热力学部分主要内容可以分为基本理论和基本理论应用两个方面。

基本理论包括工质的性质、热力学第一定律及热力学第二定律。

基本理论应用部分主要是将热力学基本理论应用于各种热力装置的工作过程,并对气体和蒸汽循环、制冷循环、热泵循环、喷管及扩压管等进行热力分析及计算,探讨影响能量转换效果的因素以及提高转换效率的途径和方法。

一、工质的性质

(1) 状态参数的特性和分类。

状态参数是宏观量,是大量粒子的统计平均效应,只有平衡态才有状态参数,系统有多个状态参数。

状态参数分类:广延量和强度量。与系统的量有关,有可加性、如体积、热力学能称为广延量;与系统的量无关,无可加性,如温度、压力等称为强度量。

(2) 基本状态参数。

工程热力学中常用的状态参数有压力、温度、体积、热力学能、焓、含湿量、湿球温度和露点温度等,其中可以直接测量的状态参数有压力、温度、体积,称为基本状态参数。

温度(T):反映物体冷热程度的物理量。温度的高低反映物体内部微观粒子热运动的强弱。当两个温度不同的物体相互接触时,它们之间将发生热量传递,如果没有其他物体影响,这两个物体的温度将逐渐趋于一致,最终将达到热平衡(即温度相等),所以温度是热平衡的判据。

压力(p):垂直作用于器壁单位面积上的力称为压力,也称压强,这种压力是绝对压力,单位是 Pa。

焓(H):能量可以分为流动的能量和储存的能量,一个物体中储存的总能量包括几种形式,比如我们都注意到了物体中储存有化学能,因为我们已经认识到物质通过燃烧可以释放出所储存的化学能。还有两种常见的能量储存的形式是动能和势能。动能是由于物体的运动或它的速度而储存的能量,而势能是由于它的位置,或海拔高度。温度和压力也会使物体具有额外的能量。我们都注意到高压的气体具有能量(如沸腾时产生的蒸汽),高温下的水可以向外释放热能。我们称这种以温度和压力所储存的能量称为焓(H)。

对于焓还有更为准确的定义,但在我们所讨论的范围内是没有必要的。在制冷工业中常使用一种说法叫热含量,它的含义与焓相同。准确地说,热是一种可以在物体之间流进、流出的能量形式,而焓或热容是物体的储存能量的形式。作为一种能量的形式,焓的单位是焦耳。比焓是单位质量的物质的焓,它的单位是焦耳/千克。

焓具有能量的意义,表示流动工质向前方传递的总能量中,取决于热力状态的那部分能量。

(3) 温度与焓。

将温度与焓（热含量）区别开来是很重要的，温度是对一个物体的热的水平的一种衡量，当物体获得热量时，它的温度升高，而物体的焓（热含量）除了取决于温度外，还取决于它的质量。例如，极少量在 1400°C 的温度下熔化了了的钢，其温度要比一大池 90°C 水高得多，但是这一大池子水的焓却高于这少量熔化的钢。也就是说，这些水中所储存的内能更多。这是一个很重要的事实，因为在许多实际应用的情况下，我们可以从这一池水中得到更多的热量，尽管它的温度较低。

二、热力学第一定律

热力学第一定律又称能量守恒与转换定律，自然界中一切物质都具有能量。能量既不可能被创造，也不可能被消灭，而只能从一种形式转变成另一种形式。在转换的过程中，能的总量保持不变。这是十九世纪的三大发现之一，是辩证唯物主义的科学基础之一。

热力学第一定律的另外一种描述：

热是能的一种，机械能变热能，或热能变机械能的时候，它们之间的比值是一定的。或热可以变为功，功也可以变为热；一定量的热消失时必定产生相应量的功；消耗一定量的功时，必出现与之相应量的热。因此，不花费能量就可以产生功的第一类永动机是不可能制造成功的。

热力学第一定律解析式的适用条件：①闭口系统；②任何工质；③任何过程。

热力学第一定律在工程上有着广泛的应用，如蒸汽轮机、汽轮机、压气机、水泵、热交换器、喷管等。

三、热力学第二定律

热力学第二定律的表述有 60~70 种，其中最有代表性的是克劳修斯表述和开尔文—普朗克表述。

克劳修斯表述——热量不可能自发地不花代价地从低温物体传向高温物体。

开尔文—普朗克表述——不可能制造循环热机，只从一个热源吸热，将之全部转化为功，而不对外界留下任何影响。

四、卡诺循环和逆卡诺循环

1. 卡诺循环

卡诺循环是工作于温度分别为 T_1 和 T_2 得两个热源之间的正向循环，由两个可逆定温过程和两个可逆绝热过程组成。工质为理想气体时得 $p-v$ 图和 $T-s$ 如图 1-7 和图 1-8 所示。图中：4-1 为绝热压缩；1-2 为定温吸热；2-3 为绝热膨胀；3-4 为定温放热。

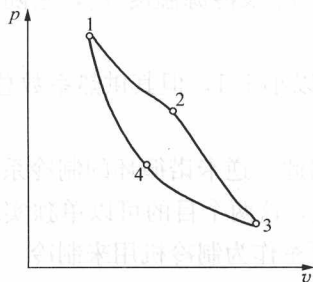


图 1-7 $p-v$ 图

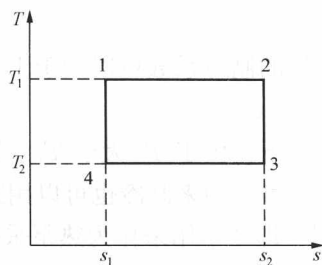


图 1-8 $T-s$ 图

2. 逆卡诺循环

逆向卡诺循环按与卡诺循环相同的路线而循反方向进行。如图 1-9 和图 1-10 所示的 1-4-3-2-1, 它按逆时针方向进行。各个过程中功和热量的计算与正向卡诺循环相同, 只是传递方向相反。图中: 4-3 为定温吸热; 3-2 为定熵压缩; 2-1 为定温放热; 1-4 为定熵膨胀。

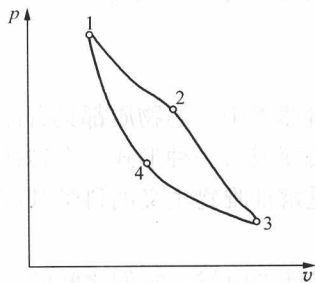


图 1-9 $p-v$ 图

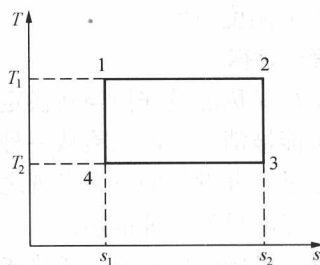


图 1-10 $T-s$ 图

逆卡诺循环的制冷系数为

$$\epsilon_1 = \frac{q_2}{q_1 - q_2} = \frac{T_2(s_2 - s_1)}{T_1(s_2 - s_1) - T_2(s_2 - s_1)} = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \quad (1-12)$$

逆卡诺循环的制热系数为

$$\epsilon_2 = \frac{q_1}{q_1 - q_2} = \frac{T_1(s_2 - s_1)}{T_1(s_2 - s_1) - T_2(s_2 - s_1)} = \frac{T_1}{T_1 - T_2} \quad (1-13)$$

逆卡诺循环原理主要应用于制冷机、热泵机组上。

3. 卡诺定理

在两个不同温度的恒温热源间工作的所有热机, 以可逆热机的热效率为最高。

在相同温度的高温热源和相同的低温热源之间工作的一切可逆循环, 其热效率都相等, 与可逆循环的种类无关, 与采用哪种工质也无关。

在同为温度 T_1 的热源和同为温度 T_2 的冷源间工作的一切不可逆循环, 其热效率必小于可逆循环热效率。

4. 逆卡诺循环结论

(1) 逆卡诺循环的性能系数只决定于热源温度 T_1 及冷源温度 T_2 , 它随 T_1 降低及 T_2 的提高而增大。

(2) 逆卡诺循环的制冷系数可以大于 1, 也可以小于 1, 但其供热系数总是大于 1, 二者之间的关系为 $\epsilon_2 = 1 + \epsilon_1$ 。

(3) 在一般情况下, 由于 T_2 大于 $T_1 - T_2$, 因此, 逆卡诺循环的制冷系数也大于 1。

(4) 逆卡诺循环可以用来制冷也可以用来制热, 这两个目的可以单独实现, 也可以在同一设备中交替实现, 即冬季用来作为热泵采暖, 夏季作为制冷机用来制冷。

因此作为空调制冷专业的基础课, 逆卡诺循环原理是很重要的, 像我们后面在专业课中要学到的热泵工作原理, 空调工作原理, 其实都是逆卡诺循环的工作原理, 只不过附加了设

备,使这些工作原理成为实际工作设备。

五、湿空气的焓湿图

湿空气是指干空气和水蒸气的混合气体,凡含有水蒸气的空气就是湿空气。在空调工程中,研究与改造的对象是空气环境,所使用的媒介物往往也是湿空气,因而需要对空气的物理性质有所了解。

1. 湿空气的物理性质

在湿空气中,水蒸气所占的百分比是不稳定的,常常随着海拔、地区、季节、气候、湿源等各种条件的变化而变化,因为水蒸气在仅有压力变化的情况下就能够液化,而干空气只有其温度降低到一定临界温度以下后才能液化。相对来说,湿空气中的水蒸气数量很少,它来源于地球上的海洋、江河、湖泊表面的水分蒸发,各种生物的代谢过程,以及生产工艺过程。虽然湿空气中水蒸气的含量少,但其变化会引起湿空气干、湿度变化,进而对人体感觉、产品质量、工艺过程和设备维护等都有直接影响,这是不容忽视的;同时,湿空气中水蒸气含量的变化又会使湿空气的物理性质随之变化。因此,从空气调节的角度来说,空气的潮湿程度是我们十分关心的问题。

湿空气的物理性质除和它的组成成分有关外,还决定于它所处的状态。湿空气的状态通常可以用压力、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。

(1) 大气压力。大气压力是指大气层在地球表面单位面积上形成的压力。在空调系统中,空气的压力常用仪表测定,但仪表指示的压力不是空气压力的绝对值,而是与当地大气压力的差值,称为工作压力(也叫表压力)。它不能代表空气压力的真正大小,只有空气的绝对压力才是空气的一个基本状态参数。工作压力与绝对压力的关系为:压力=当地大气压力+工作压力。需要说明的是,凡是没有特别指明是工作压力的,均应理解为绝对压力。

(2) 水蒸气分压力。水蒸气分压力是指湿空气中水蒸气的分压力,是指湿空气中的水蒸气单独占有湿空气的体积,并具有与湿空气相同温度时所具有的压力。根据气体分子运动论的学说,气体分子越多,撞击容器壁面的机会就越多,表现出的压力也就越大。因而,水蒸气分压力的大小也就反映了水蒸气含量的多少。

在一定温度下,空气中的水蒸气含量越多,空气就越潮湿,水蒸气分压力也越大,如果空气中水蒸气的数目超过某一限量时,多余的水蒸气就会凝结成水从空气中析出。因此,湿空气中含水蒸气的分压力大小,是衡量湿空气干燥与潮湿程度的基本指标。由于空气和过热蒸汽组成的湿空气称为未饱和空气;由于空气和饱和水蒸气组成的湿空气称为饱和空气,相应的水蒸气分压力称之为饱和水蒸气分压力。

(3) 含湿量。含湿量是指对应于 1kg 干空气的湿空气中所含有的水蒸气量,单位是 kg/kg 干空气,根据定义则有

$$d = \frac{m_a}{m_g} \quad (1-14)$$

含湿量使用起来很不方便,因为在水分蒸发和凝结时,湿空气中的水蒸气质量是变化的,而且湿空气的容积还随着温度的变化而变化。因此,即使水蒸气质量不变,由于湿空气

容积的改变,绝对湿度亦将相应地变化,因而绝对湿度不能确切地反映湿空气中水蒸气量的多少,或者说绝对湿度只能说明湿空气含水蒸气的多少,不能说明空气的干燥和潮湿程度,也不能说明空气吸收水蒸气的能力。

(4) 相对湿度。空气中水蒸气分压力和同温度下饱和水蒸气分压力之比,也称为饱和度。相对湿度反映了湿空气中水蒸气含量接近饱和的程度。根据定义则有

$$\varphi = \frac{p_a}{p_{qb}} \times 100\% \quad (1-15)$$

由式(1-15)可知,相对湿度反应了在某一温度下,湿空气中水蒸气接近饱和的程度。 φ 值小,说明湿空气距离饱和状态甚远,空气干燥,吸收水蒸气的能力强; φ 值大,说明湿空气接近饱和状态,空气潮湿,吸收水蒸气的能力弱。当 φ 为0时,空气为干空气;当 φ 为100%时,空气为饱和状态空气。

相对湿度和含湿量都是表示湿空气含有水蒸气多少的参数,但两者的意义却不相同:相对湿度反映湿空气接近饱和的程度,却不能表示水蒸气的具体含量;含湿量可以表示水蒸气的具体含量,但不能表示湿空气接近饱和的程度。

(5) 干、湿球温度和露点温度。根据空气温度形成的过程和用途不同可将空气的温度区分为干球温度、湿球温度和露点温度。干球温度是指干球温度表所指示的温度。一般情况下指干球温度,用 t 表示。湿球温度是指湿球温度表所指示的温度。用带有水分的湿纱布包在温度计的感温球上,这样的温度计就叫湿球温度计,所测出的温度就叫湿球温度,是纱布中的水与周围空气进行热、湿交换达到最终稳定状态时的温度,用 t_s 表示。湿球温度的形成过程在实际工程中可看成等焓过程。

露点温度是指在大气压力一定、某含湿量下的未饱和空气因冷却达到饱和状态时的温度,用 t_L 表示。在冬天的玻璃窗上或夏季的自来水管上常常可以看到有凝结水或露水存在。这一现象可以用露点温度形成来解释。在空调工程中的很多除湿过程,就是利用结露规律进行的。

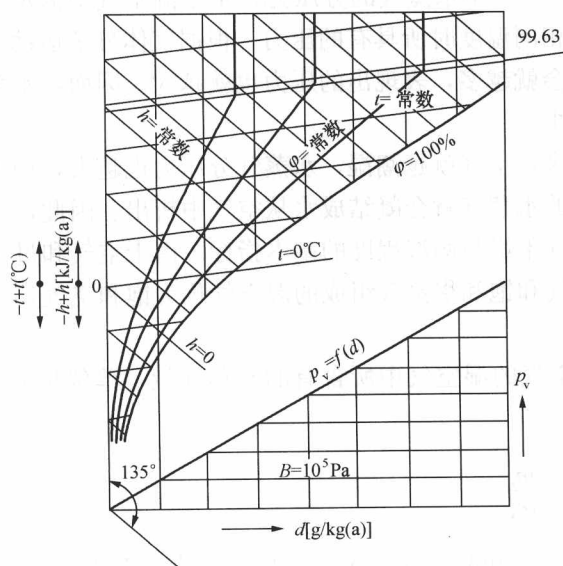


图 1-11 湿空气的焓湿图

2. 湿空气的焓湿图 (图 1-11)

(1) 等温线的绘制。等温线是根据公式 $h = 1.01t + d(2500 + 1.84t)$ 绘制的。当 $t = \text{const}$ 时, h 和 d 呈线性关系,因此必须给定两个值,即可确定一条等温线,也就是该直线上的状态点具有相同的温度。给定不同的温度就可得到一系列等温线,如图 1-12 所示。

式中, $1.01t$ 为等温线在纵坐标上的截距, $(2500 + 1.84t)$ 为等温线的斜率。由于 t 值不同,等温线的斜率也就不同,因此,严格来讲,等温线不是一组平行的直线。但由于 $1.84t$ 远小于 2500,所以等温线可近似看做是平行的,如图 1-12 所示。

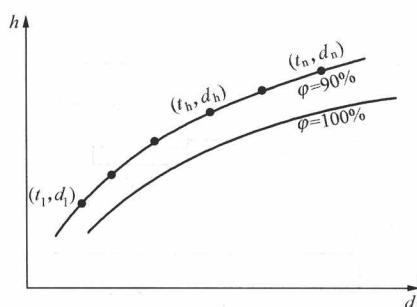


图 1-12 等温线的绘制

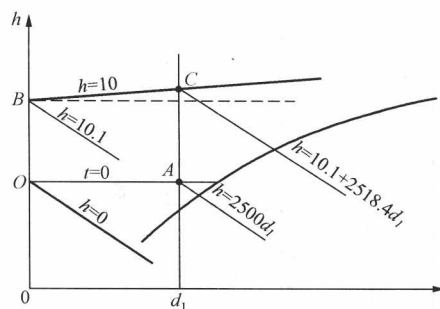


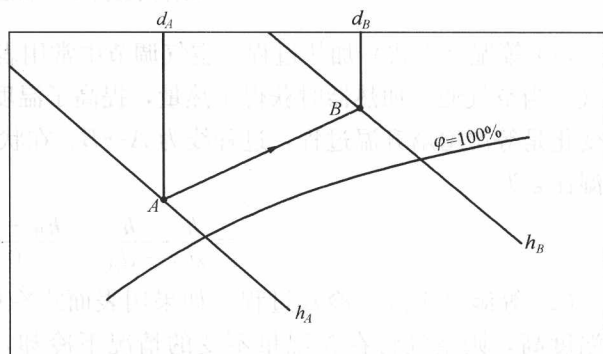
图 1-13 等相对湿度线

(2) 等相对湿度线。等相对湿度线是根据公式 $d = 0.622 \varphi p_{qb} / (B - \varphi p_{qb})$ 绘制的，如图 1-13 所示。

(3) 水蒸气分压力线。公式 $d = 0.622 \frac{p_q}{B - p_{qb}}$ 可以变换为 $p_q = \frac{Bd}{0.622 + d}$ 。

当大气压力 B 为定值时，上式为 $p_d = f(d)$ 的函数形式，水蒸气分压力 p_q 仅仅取决于含湿量 d 。因此可以在 d 轴的上方设一水平线，标出 d 值所对应的 p_q 值即可。

(4) 热湿比线。在空气调节过程中，被处理空气常常由一个状态变为另一个状态。在整个变化过程中，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，就应代表空气状态的变化过程，如图 1-14 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 (kJ/kg)。即

图 1-14 在 $h-d$ 图上湿空气的状态变化

$$\epsilon = \frac{h_B - h_A}{d_B - d_A} = \frac{\Delta h}{\Delta d} \quad (1-16)$$

热湿比 ϵ 值反映了空气从状态 A 到状态 B 的过程线斜率，即该过程线与水平线的倾斜角度，故又称角系数。在 $h-d$ 上任何一条直线都代表空气状态变化过程，都有一定的角系数值与它对应。对于湿空气的各种变化过程，不论其初状态如何，只要它们的角系数相同，则其过程线就会相互平行。根据这个特性，就可在 $h-d$ 图上以任意点为中心，画出一系列不同值的角系数线，如图 1-15 所示。

3. 焓湿图的应用

焓湿图表示湿空气的状态变化过程。

利用 $h-d$ 图不仅能够确定空气的状态和状态参数，而且可以表示空气的状态变化，各种变化过程的方向和特征可用角系数 ϵ 来表示，下面介绍几种典型的过程。