



“十三五”普通高等教育本科规划教材

# 建筑环境与能源 应用工程概论

刘丽莘 徐 硕 主 编  
王 娜 安笑媛 周 乾 副主编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育本科规划教材

# 建筑环境与能源 应用工程概论

主 编 刘丽莘 徐 硕  
副主编 王 娜 安笑媛 周 乾  
编 写 于晓丹 李佳阳 卞彩侠 齐海英 张淑秘  
主 审 张治江



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书为“十三五”普通高等教育本科规划教材。书中主要介绍了建筑环境及建筑内的给水、排水、供热、通风、空气调节、冷热源、供燃气、供电、照明等设备的基础知识和实用技术,通过介绍使建筑工程技术人员对建筑环境专业涉及的设备有一个全面的了解。

本书可作为高等院校建筑环境与能源应用工程专业教材,也可供相关专业技术人员参考阅读。

## 图书在版编目(CIP)数据

建筑环境与能源应用工程概论/刘丽莘,徐硕主编.  
—北京:中国电力出版社,2017.1  
“十三五”普通高等教育本科规划教材  
ISBN 978-7-5123-9784-2

I. ①建… II. ①刘… ②徐… III. ①建筑工程-环境管理-高等学校-教材 IV. ①TU-023

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第219642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>)

北京天宇星印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2017年1月第一版 2017年1月北京第一次印刷  
787毫米×1092毫米 16开本 18.75印张 459千字  
定价 38.00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

建筑环境与能源应用工程专业（简称建环专业）是土木类二级学科。近年来，随着理论更新和材料技术的迅猛发展，建环专业涉及的领域也不断拓宽。本书在建环专业新规范、新技术、新产品的的基础上，结合各课程特点深入浅出地介绍了专业基础知识（流体力学、工程热力学、传热学、建筑环境）和专业知识（建筑给排水、消防给水、热水供应、供热工程、通风工程、空气调节、燃气输配、冷热源、建筑电气），主要适用对象为土木类、建筑类、管理科学与工程类、设计学类专业。本书弱化理论计算的相关内容，注重实用技术、施工方法等的介绍，内容简洁明了，使得各专业技术人员可以更好地理解和掌握建环专业设备概况。

本书推荐学时为 24~64 学时。书中各章自成体系，可根据授课对象不同，按照人才培养方案及专业特点，自行取舍相关内容讲授。

本书由长春工程学院刘丽莘、长春建筑学院徐硕主编。其中第一章由卞彩侠、刘丽莘编写，第二章由李佳阳、刘丽莘编写，第三章由于晓丹编写，第四、第八章由徐硕编写，第五章由王娜、刘丽莘编写，第六章由王娜、张淑秘编写，第七章由安笑媛、周乾编写，第九章由齐海英编写。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！限于编者水平，对书中存在的不足之处，望同行和读者批评指正。

编 者

2016 年 12 月



# 目 录

前言	
<b>第一章 基础知识</b> .....	1
第一节 流体力学.....	1
第二节 工程热力学.....	5
第三节 传热学.....	11
<b>第二章 建筑环境学</b> .....	17
第一节 建筑外环境.....	17
第二节 室内空气品质.....	19
第三节 建筑环境中的热湿环境.....	20
第四节 建筑声环境.....	23
第五节 建筑光环境.....	25
<b>第三章 建筑给排水工程</b> .....	27
第一节 建筑内部给水系统.....	27
第二节 建筑消防给水系统.....	51
第三节 建筑内部热水供应系统.....	65
第四节 建筑内部排水系统.....	69
<b>第四章 供热工程</b> .....	85
第一节 室内供暖系统的设计热负荷.....	85
第二节 室内供暖系统的末端装置.....	99
第三节 室内热水供暖系统.....	110
第四节 室内蒸汽供暖系统.....	121
第五节 室内供暖系统的水力计算.....	126
<b>第五章 通风工程</b> .....	132
第一节 建筑通风系统的分类及原理.....	132
第二节 建筑通风方式.....	134
第三节 通风系统的主要设备.....	138
第四节 高层建筑的防排烟.....	144
<b>第六章 空气调节工程</b> .....	151
第一节 概述.....	151
第二节 空调水系统及空调系统设备.....	158
第三节 空调系统节能及一般控制.....	164
第四节 空调系统施工图.....	167

<b>第七章 冷热源</b> .....	170
第一节 空调冷热源.....	170
第二节 热源.....	184
第三节 制冷剂与冷热媒（工质与水系统）.....	210
第四节 冷热源设计及实例.....	215
<b>第八章 燃气输配工程</b> .....	219
第一节 城镇燃气及其质量标准.....	219
第二节 城镇燃气用气负荷.....	228
第三节 城镇燃气输配系统.....	233
<b>第九章 建筑电气基础知识</b> .....	246
第一节 建筑电气概述.....	246
第二节 建筑供配电系统.....	251
第三节 电气照明.....	279
第四节 接地与防雷.....	285
<b>参考文献</b> .....	293

# 第一章 基础知识

## 第一节 流体力学

流体力学作为力学的一个重要分支，主要研究流体在静止与运动状态下的力学规律，及其在工程中的应用。

### 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，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，而无一定体积，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。

### 二、流体的主要物理性质

#### 1. 流动性

在任意微小剪切力作用下会发生连续变形的特性称为流动性。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质量密度。

#### 3. 黏性

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。平板间液体速度变化如图 1-1 所示。

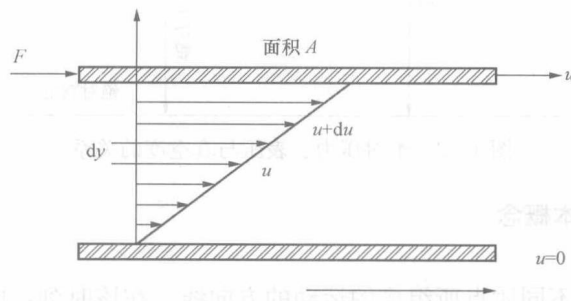


图 1-1 平板间液体速度变化

实验证明,对于一定的流体,内摩擦力  $F$  与速度梯度  $\frac{du}{dy}$  成比例,与流层的接触面积  $A$  成比例,与流体的性质有关,即

$$F = \mu A \frac{du}{dy} \quad (1-1)$$

式(1-1)称为牛顿黏性定律,其中  $\mu$  为动力黏滞系数,与流体的种类和温度有关, $\mu$  值越大,流体的黏性越大; $\frac{du}{dy}$  表征流体流速在法线方向上的变化率。

#### 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升高而增大的性质,称为流体的膨胀性。液体的压缩性和膨胀性都很小,一般忽略不计;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  $\rho$ ,则液柱高度  $h$  与压力  $p$  的关系如下

$$p = \rho gh \quad (1-2)$$

#### 6. 绝对压强、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;以当地大气压为基准测得的压力称为表压或者相对压力。

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,它们的关系如图1-2所示。

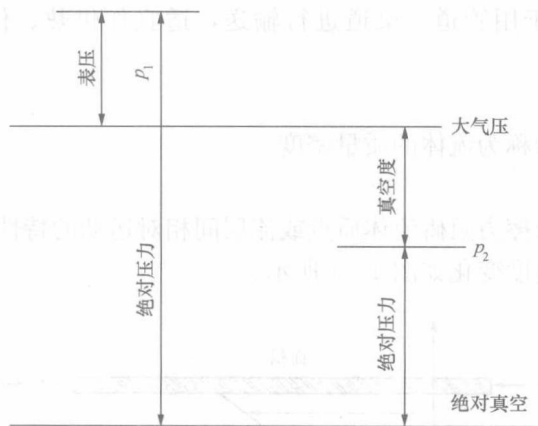


图1-2 绝对压力、表压与真空度的关系

### 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。在该时刻,曲线上所有质点的速度矢量都与这条曲线相切,如图1-3所示。

迹线是指流体质点某一时段的运动轨迹。



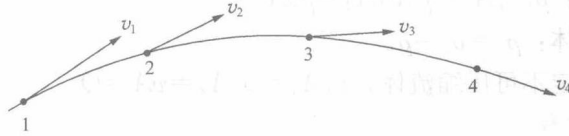


图 1-3 某时刻流线图

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相重合；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。

## 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，称为流管。

过流断面是在流束上作出的与流线正交的横断面。过流断面不一定是平面，只有在流线相互平行的均匀流段才是平面。

若流管的横截面积无限小，则称其为流管元，亦称元流。

流体运动时，过流断面内所有元流的总和称为总流。

## 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  $kg/s$ 。

体积流量与质量流量的关系为

$$q_m = q_V \rho \quad (1-3)$$

体积流量、过流断面面积  $A$  与流速  $v$  之间的关系为

$$q_V = Av \quad (1-4)$$

## 四、流体运动的分类

### 1. 恒定流与非恒定流

恒定流是指流场中各空间点的运动要素（速度、压强、密度等）皆不随时间变化，只与空间位置有关的流动；反之，称为非恒定流。

### 2. 均匀流与非均匀流

在给定的某一时刻，各点速度矢量都不随位置而变化的流体运动称为均匀流，否则为非均匀流。

### 3. 有压流与无压流

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，一般供水、供热管道均为有压流管道。有自由液面存在的管道称为无压管道，无压管道中的流体称为无压流，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

(1) 过流断面： $A_1$ 、 $A_2$ 、…

(2) 对应平均流速： $v_1$ 、 $v_2$ 、…

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

(4) 对不可压缩流体:  $\rho_1 = \rho_2 = \rho$ 。

(5) 适用条件: 恒定不可压缩流体,  $v_1 A_1 = v_2 A_2 = v A = Q$ 。

## 2. 恒定总流能量方程

恒定总流能量方程 (1-5) 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。

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{l1-2} \quad (1-5)$$

式中:  $z_1$ 、 $z_2$  为选定的 1、2 流断面上任一点相对于选定基本面的高程;  $p_1$ 、 $p_2$  为相应断面同一选定点的压强;  $v_1$ 、 $v_2$  为相应断面的平均流速;  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  为相应断面的动能修正系数;  $h_{l1-2}$  为 1、2 断面间平均单位水头损失。

## 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), 指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

#### (1) 沿程水头损失

$$h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} \quad (1-6)$$

#### (2) 局部水头损失

$$h_m = \xi \frac{v^2}{2g} \quad (1-7)$$

式中:  $h_f$  为单位重力流体的沿程能量损失, m;  $h_m$  为单位重力流体的局部能量损失, m;  $\lambda$  为沿程损失系数;  $\xi$  为局部阻力系数;  $l$  为管道的长度, m;  $d$  为管道内径, m;  $\frac{v^2}{2g}$  为单位重力流体的动压头, 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, 即

$$h_{l1-2} = \sum h_f + \sum h_m \quad (1-8)$$

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. 雷诺实验及其装置

雷诺实验及其装置如图 1-4 所示。不断投加红色的水于液体中, 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 1-4 (b) 所示，此时水流成层成束流动，各流层间并无质点的掺混现象，这种水流型态称为层流。如果加大管中水的流速，红颜色的水随之开始动荡，呈波浪形，此时为过渡状态，如图 1-4 (c) 所示。继续加大管中水的流速，将出现红颜色的水向四周扩散、质点或液团相互掺混的现象，流速越大，掺混程度越剧烈，这种水流型态为紊流，如图 1-4 (d) 所示。

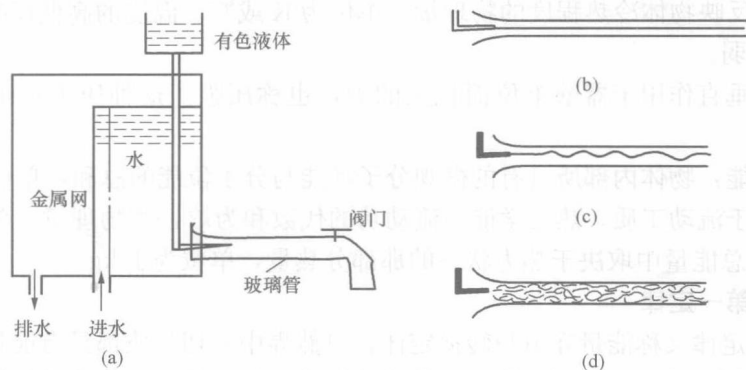


图 1-4 雷诺实验及其装置

(a) 实验装置；(b) 层流；(c) 过渡态；(d) 紊流

## 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

临界雷诺数计算公式如下

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad (1-9)$$

式中： $Re$  为临界雷诺数； $\nu$  为运动黏度； $d$  为管径。实际工程中，临界雷诺数通常取 2000 作为判别流态的标准。雷诺数小于 2000 时，流动为层流；雷诺数等于 2000 时，流动为临界流；雷诺数大于 2000 时，流动为紊流。

## 第二节 工程热力学

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两个方面：基本理论和基本理论应用。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. 热力状态

工质的热力状态反映工质大分子热运动的平均特性。工质状态是不断变化的，不同的变

化过程存在不同的能量变化规律。

## 2. 状态参数

状态参数一旦确定,工质的状态也就确定了,状态参数是热力状态的单值性参数。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、比体积,称为基本状态参数。

(1) 温度:反映物体冷热程度的物理量,单位为 K 或  $^{\circ}\text{C}$ 。温度的高低反映物体内部微观粒子热运动的强弱。

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

(3) 热力学能:物体内部所具有的微观分子动能与分子位能的总和,单位为 J。

(4) 焓:对于流动工质,热力学能与流动功的代数和为焓,其物理意义为:流动工质向流动前方传递的总能量中取决于热力状态的那部分热量,单位为 J/kg。

## 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换成另一种形式。在转换的过程中,能量的总量保持不变。

在工程热力学中,热力学第一定律可描述为:机械能转换成热能,或热能转换成机械能时,它们之间的比值是一定的。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

热力学第二定律有各种不同的表述,其中,克劳修斯说法为: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-普朗克说法为: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,而不在外界留下任何影响。热力学第二定律告诉我们,自然界的物质与能量只能沿着一个方向转换,从有效到无效,从可利用到不可利用,说明了节能的必要性。

## 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  $T_2$  的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。工质为理想气体时的  $p-V$  图和  $T-S$  图如图 1-5、图 1-6 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。

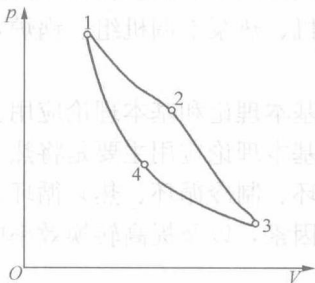


图 1-5 卡诺循环  $p-V$  图

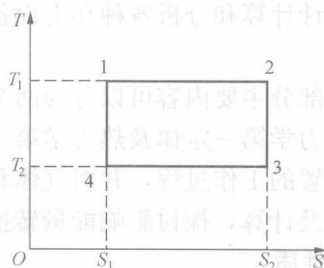


图 1-6 卡诺循环  $T-S$  图

## 2. 逆卡诺循环

逆卡诺循环按与卡诺循环相同的路线而循反方向进行。如图 1-7、图 1-8 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卡诺循环相同，只是传热方向相反。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。

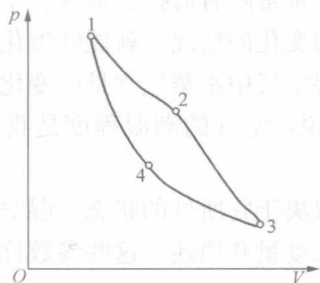


图 1-7 逆卡诺循环  $p-V$  图

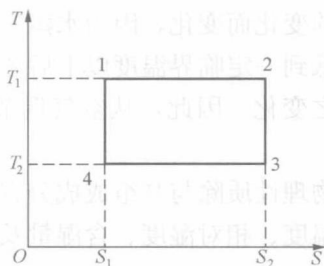


图 1-8 逆卡诺循环  $T-S$  图

逆卡诺循环的制冷系数为

$$\epsilon_1 = \frac{q_2}{q_1 - q_2} = \frac{T_2(S_2 - S_1)}{T_1(S_2 - S_1) - T_2(S_2 - S_1)} = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \quad (1-10)$$

逆卡诺循环的制热系数为

$$\epsilon_2 = \frac{q_1}{q_1 - q_2} = \frac{T_1(S_2 - S_1)}{T_1(S_2 - S_1) - T_2(S_2 - S_1)} = \frac{T_1}{T_1 - T_2} \quad (1-11)$$

## 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温度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取决于热源温度  $T_1$  及冷源温度  $T_2$ ，它随  $T_1$  的降低及  $T_2$  的升高而增大。

(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 1，两者之间的关系为  $\epsilon_2 = 1 + \epsilon_1$ 。

(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，即冬季作为热泵用来采暖，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。

### (一) 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，而干空气只有在其温度降低到一定临界温度以下后才能液化。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与其组成成分有关外，还取决于它所处的状态。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称为大气压力。在空调系统中，空气的压力常用仪表测定，但仪表指示的压力是表压力，而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。水蒸气分压力的大小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，单位为 g/kg。根据定义，有

$$d = \frac{m_q}{m_g} \quad (1-12)$$

#### 4. 相对湿度

湿空气的绝对湿度  $\rho_v$  与同温度下饱和空气的饱和绝对湿度  $\rho_s$  的比值称为相对湿度，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，有

$$\varphi = \frac{\rho_v}{\rho_s} \times 100\% \quad (1-13)$$

由式 (1-13) 可知， $\varphi$  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； $\varphi$  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  $\varphi=0$

时，空气为干空气；当  $\varphi=100\%$  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，这样的温度计就叫做湿球温度计，所测出的温度就叫做湿球温度，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。空调工程中的很多除湿过程，就是利用结露规律进行的。

### (二) 焓湿图

焓湿图是以  $1\text{kg}$  干空气为基准，并在一定大气压力  $B$  下，取焓  $h$  和含湿量  $d$  为坐标绘制的。为使图面开阔、清晰， $h$  和  $d$  坐标之间呈  $135^\circ$  夹角，如图 1-9 所示。

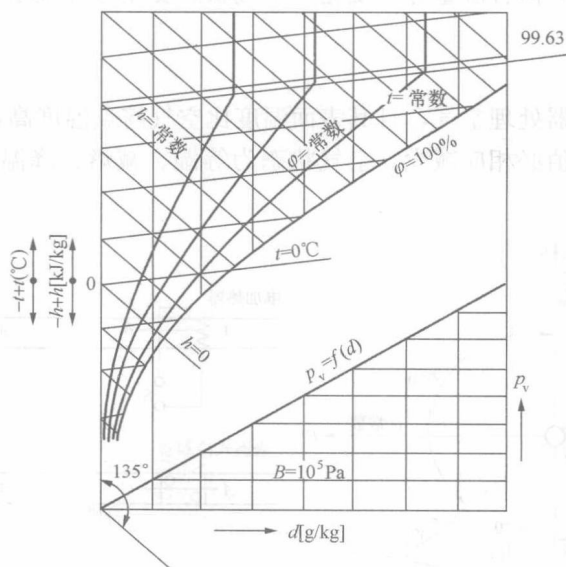


图 1-9 湿空气的焓湿图

#### 1. 等温线

等温线是根据公式  $h = 1.01t + d(2500 + 1.84t)$  绘制的，当空气的干球温度  $T$  不变时， $h$  和  $d$  呈线性关系，给定不同的温度就可得到一系列等温线。由于  $T$  值不同，等温线的斜率也就不同，因此，严格地讲等温线不是一组平行的直线。

2. 等相对湿度线

等相对湿度线是根据公式  $d = 0.662\varphi p_s / (B - \varphi p_s)$  绘制的，是一组从坐标原点散发出来的曲线。式中  $\varphi$  为相对湿度， $p_s$  为水蒸气饱和分压力。

3. 水蒸气分压力线

公式  $d = 0.662\varphi p_s / (B - \varphi p_s)$  可以变换为  $p_v = \frac{Bd}{622+d}$ 。当大气压力  $B$  为定值时，水蒸气分压力随含湿量而变化。

4. 等湿度线

等湿度线是一组与纵轴线平行的直线。在同一根等湿度线上，不同的点具有相同的湿度值，它的数值可以在辅助水平上读出来。

5. 等焓线

等焓线是一组与横轴平行的直线。在同一根等焓线上，不同的点所代表的湿空气的状态不同，但都有相同的焓值，其值可以在纵坐标上读出来。

(三) 焓湿图的应用

利用焓湿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。下面介绍几种典型的过程。

1. 等湿加热过程

空气调节中常用表面式空气加热器（或电加热器）来处理空气。当空气通过加热器时获得了热量，提高了温度，但含湿量并没变化。空气状态变化是等湿增焓升温过程，过程线为  $A \rightarrow B$ 。

2. 等湿冷却过程

如果用表面式冷却器处理空气，且其表面温度比空气露点温度高，则空气将在含湿量不变的情况下冷却，其焓值必相应减少。空气状态为等湿、减焓、降温，如图 1-10 中  $A \rightarrow C$  所示。

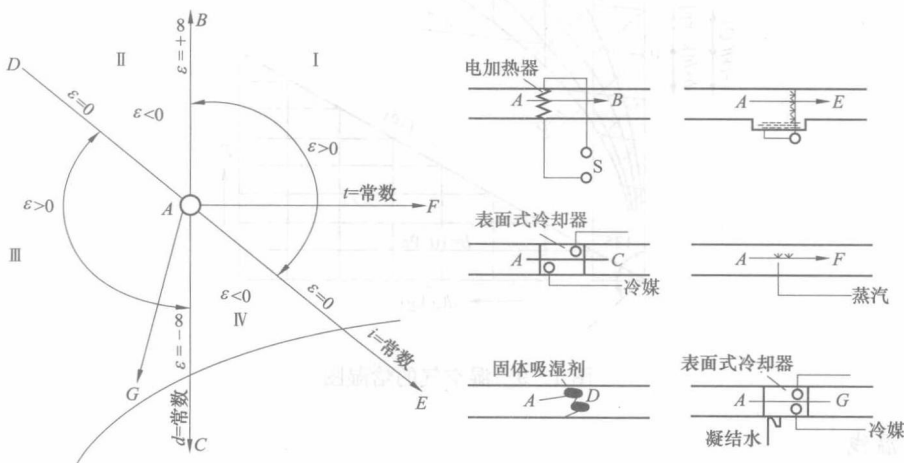


图 1-10 几种典型湿空气的状态变化过程

3. 等焓减湿过程

用固体吸湿剂（如硅胶）处理空气时，水蒸气被吸附，空气的含湿量降低，空气失去潜

热, 而得到水蒸气凝结时放出的汽化热使温度增高, 但焓值基本没变, 只是略微减少了凝结水带走的液体热, 空气近似按等焓减湿升温过程变化, 如图 1-10 中  $A \rightarrow D$  所示。

#### 4. 等焓加湿过程

用喷水室喷循环水处理空气时, 水吸收空气的热量而蒸发为水蒸气空气失掉显热量, 温度降低, 水蒸气到空气中使含湿量增加, 潜热量也增加。由于空气失掉显热, 得到潜热, 因而空气焓值基本不变。所以称此过程为等焓加湿过程, 如图 1-10 中  $A \rightarrow E$  所示。

#### 5. 等温加湿过程

如图 1-10 中  $A \rightarrow F$  过程所示。这是通过向空气喷蒸汽而实现的, 空气中增加水蒸气后, 其焓和含湿量都将增加, 焓的增加值为加入蒸汽的全热量。

#### 6. 减湿冷却过程

如果用表面冷却器处理空气, 当冷却器的表面温度低于空气的露点温度时, 空气中的水蒸气将凝结为水, 从而使空气减湿, 空气的变化过程为减湿冷却过程, 此过程线如图 1-10 中  $A \rightarrow G$  所示。

湿空气焓湿图在空气调节、通风等工程中有着很广泛的应用, 而上述典型处理过程是以后学习的基础。因此, 要熟练掌握湿空气焓湿图的应用。

## 第三节 传 热 学

传热学是研究热量传递过程规律的科学。

凡是有温度差存在, 就有热量自发地从高温物体传到低温物体。热量传递是一种极普通的物理现象, 故而传热学的应用领域也就十分广泛。建筑设备中更是不乏传热问题, 例如热源和冷源设备的选择、配套和合理有效的利用, 供热通风及空调产品的开发、设计和实验研究, 各种供热设备管道的保温材料及建筑围护结构材料等的研制及其物理性质的测试、热损失的分析计算, 各类换热器的设计、选择和性能评价, 建筑物的热工计算和环境保护等。在这种情况下, 为了解有关建筑设备的专业内容, 学习一些传热学方面的基本知识显得非常必要。因此, 本节主要介绍导热、对流换热、辐射换热及稳定传热的基本概念和基本计算方法。

### 一、导热

导热是指物体各部分无相对位移或不同物体直接接触时依靠分子、原子及自由电子等微观粒子的热运动而进行的热量传递现象。导热的发生不需要物体各部分之间有宏观的相对位移。导热过程可以在固体、液体及气体中发生。

#### 1. 基本概念

(1) 温度场。温度场是某一时刻空间中各点温度分布的总称。一般来说, 温度场是空间坐标和时间的函数, 即  $t = (x, y, z, \tau)$ 。

(2) 等温面与等温线。同一时刻, 温度场中所有温度相同的点连接构成的面叫做温度面。不同的等温面与同一平面相交所得到的簇曲线为等温线。同时刻两条不同等温线不会彼此相交。在任何时刻, 标绘出物体中所有等温面(线), 即描绘出了物体内部温度场。

(3) 温度梯度。有温差存在才有热量传递, 故在等温面(线)上不可能有热量传递。所以, 热量传递只能发生在不同的等温线之间(或称不同等温面之间的两点)。事实证明, 两