

全国中等水产学校试用教材

# 制冷设备

天津市水产学校主编

制冷专业用

农业出版社

主编：天津市水产学校 姚行健

全国中等水产学校试用教材

**制 冷 设 备**

天津市水产学校 主编

农业出版社出版 新华书店北京发行所发行

农业出版社印刷厂印刷

787×1092毫米32开本 10.125印张 217千字

1979年9月第1版 1979年9月北京第1次印刷

印数 1—10,000册

统一书号 16144·1988 定价 0.95元

## 前 言

本教材系制冷专业的主要专业课程之一。其内容为介绍蒸汽压缩式制冷装置中，除压缩机之外的各种制冷设备和辅助设备的原理、结构、性能、使用特点和选择依据。为了适应实现四个现代化的需要，同时又要密切结合制冷技术目前的实际情况，本书在取材方面力求全面地反映目前的先进水平，并适当地介绍了一些工艺技术发展的动向。

在编写时，考虑到加强基础理论知识和分析实际设备的需要，增写了《基础知识》一篇，系统而扼要地介绍了流体流动和传热过程的基本内容，作为制冷设备中分析流体流动特性、水力计算、换热现象分析和传热计算的基础。

鉴于水产事业发展的需要，考虑到工作中接触船舶制冷装置和空调装置的机会大大增加，本书在着重介绍氨用制冷设备之外，适当地介绍了一些氟利昂系统所用的设备。

在换热设备方面介绍了常用的结构型式，此外还介绍了一些日益广泛使用的新型换热设备。

根据制冷装置实现全面自动化的需要，本书在阀门和控制器一章中对一些最基本的自动化元件作了概略的介绍。为了避免与《制冷装置自动化》课程的内容发生重复，有关自动化的系统内容从略。

本书也可供其他中等专业学校制冷专业作为教学参考

书，并可供一般制冷技术人员参考。

本书初稿得到中国水产科学研究设计院工程师孙瑞璋；西安交通大学副教授张祉祐；广东省食品公司工程师麦嘉穗；中南工业建筑设计院工程师张友初；上海机械学院讲师周启瑾；华中工学院讲师郑贤德；洛阳制冷机械厂施永年；厦门水产学院李松寿等同志的详细审阅和指教，在此谨志谢忱。

限于编者的业务水平和时间所限，谬误和不妥之处，恳请读者指正。

编者

一九七九年一月

# 目 录

## 前言

## 第一篇 基础知识

第一章 流体流动	2
第一节 概述	2
第二节 流体及其基本性质	3
第三节 流体流动的连续性方程	8
一、流体的流量和流速	8
二、稳定流动和不稳定流动	9
三、流体作稳定流动时的连续性方程	10
第四节 流体作稳定流动时的柏努利方程	12
一、理想流体的柏努利方程	13
二、实际流体的柏努利方程	15
第五节 柏努利方程的应用	18
第六节 流体流动的阻力	27
一、流体阻力产生的原因及其影响因素	27
二、流体流动型态	28
三、当量直径与水力半径	31
四、流体在圆管中流动时的速度分布	33
五、流体阻力的计算	36
六、减低流体阻力的途径	48
七、管径的合理选择	50

第七节 简单管路的计算 .....	52
<b>第二章 传热过程</b> .....	<b>60</b>
第一节 概述 .....	60
一、制冷装置中的传热问题 .....	60
二、热量传递的三种基本方式 .....	62
三、传热过程中的基本问题 .....	64
第二节 热传导 (导热) .....	66
一、导热基本方程和导热系数 .....	66
二、通过平壁的热传导 .....	68
三、通过圆筒壁的热传导 .....	72
第三节 对流换热 .....	75
一、关于对流换热现象的分析 .....	75
二、对流换热基本方程和放热系数 .....	77
三、准数和准数方程 .....	80
第四节 辐射换热 .....	83
一、关于热辐射的基本知识 .....	83
二、热辐射的基本定律 .....	86
三、物体的黑度与吸收率的关系 .....	88
第五节 传热基本方程式 .....	90
一、热负荷的确定 .....	91
二、传热温差的确 定 .....	93
三、传热系数 .....	100
四、传热面积的计算 .....	106

## 第二篇 制冷装置中的热交换设备

<b>第三章 冷凝器</b> .....	<b>107</b>
第一节 冷凝器中的传热 .....	109
一、影响制冷剂蒸汽凝结放热的因素 .....	109

二、影响冷却水或空气侧放热的因素 .....	112
第二节 卧式壳管式冷凝器 .....	113
一、卧式壳管式冷凝器的结构和特点 .....	113
二、卧式壳管式氟利昂冷凝器 .....	116
三、运行中几个参数的选择 .....	118
四、卧式壳管式冷凝器的计算举例 .....	120
五、卧壳式冷凝器优缺点的比较 .....	122
第三节 立式壳管式冷凝器 .....	122
一、立式壳管式冷凝器的结构和特点 .....	122
二、立壳式冷凝器优缺点的比较 .....	125
第四节 蒸发式冷凝器 .....	126
一、蒸发式冷凝器的结构及特点 .....	126
二、蒸发式冷凝器中的传热 .....	130
第五节 其他型式的冷凝器 .....	140
一、螺旋板式冷凝器 .....	140
二、淋激式冷凝器 .....	141
三、空气冷却式冷凝器 .....	143
第六节 冷凝器的选配 .....	145
一、冷凝器型式的选择 .....	145
二、冷凝器的计算 .....	146
第四章 蒸发器 .....	148
第一节 蒸发器中的传热 .....	150
第二节 卧式壳管式蒸发器 .....	154
第三节 立管式蒸发器 .....	162
一、直立列管式蒸发器 .....	162
二、螺旋管式蒸发器 .....	165
三、蛇管式蒸发器 .....	165
第四节 冷却排管 .....	167

一、立式墙排管 .....	168
二、蛇形盘管式墙排管 .....	169
三、顶管 .....	171
四、搁架式排管 .....	174
第五节 空气冷却器 (冷风机) .....	175
一、干式空气冷却器 .....	176
二、湿式空气冷却器 .....	177
三、吊顶式空气冷却器 .....	178
第六节 蒸发器的选配 .....	179
一、蒸发器型式的选择 .....	179
二、蒸发器的计算 .....	182
第七节 特殊用途的蒸发器 .....	188
一、快速制冰机中的蒸发器 .....	188
二、片冰机中的蒸发器 .....	190
三、平板冻结机中的蒸发器 .....	194
<b>第五章 其他换热设备 .....</b>	<b>196</b>
第一节 中间冷却器 .....	196
第二节 氟利昂热交换器 .....	202
第三节 冷凝蒸发器 .....	204
第四节 点波式水冷却塔 .....	207

### 第三篇 辅助设备和控制器

<b>第六章 辅助设备 .....</b>	<b>212</b>
第一节 润滑油的分离和收集设备 .....	212
一、油分离器 .....	212
二、集油器 .....	220
第二节 制冷剂的贮存和分离设备 .....	221
一、贮液器 .....	221



二、氨液分离器 .....	229
第三节 制冷剂的净化设备 .....	232
一、空气分离器 .....	232
二、过滤器 .....	236
三、氟利昂干燥过滤器 .....	237
第四节 紧急泄氨器 .....	239
第七章 泵与风机 .....	240
第一节 离心泵 .....	240
一、作用原理及主要零部件结构 .....	241
二、主要性能参数与特性曲线 .....	246
三、吸入真空高度及汽蚀现象 .....	250
四、离心泵的工作点及流量调节 .....	254
五、冷冻厂常用离心泵的类型和型号 .....	257
六、离心泵的选用 .....	260
第二节 氨泵 .....	262
一、齿轮泵 .....	263
二、离心泵和屏蔽泵 .....	264
三、氨泵的流量和压头 .....	264
四、氨泵管路的设计和安装要求 .....	265
第三节 通风机 .....	266
一、离心式通风机 .....	267
二、轴流式通风机 .....	271
第八章 阀门与控制器 .....	272
第一节 手动阀门 .....	273
一、截止阀 .....	273
二、手动膨胀阀 .....	274
第二节 自动阀门 .....	276
一、浮球调节阀 .....	276

二、热力膨胀阀 .....	279
三、止逆阀 .....	289
四、电磁阀 .....	290
五、恒压阀 .....	293
六、主阀 .....	296
第三节 控制器 .....	300
一、高低压压力控制器 .....	300
二、压差控制器 .....	303
三、温度控制器 .....	306
四、液位控制器 .....	308

## 第一篇 基础知识

本篇将结合制冷装置的实际情况，介绍流体力学和传热学的基本概念和普遍规律。

流体力学是力学的一个分支，它是一门研究流体的机械运动（包括其处于特殊状态——“静止”在内）客观规律的科学。它应用理论力学所得知的基本法则来确定作用于流体的外力、运动速度和压力之间的关系。

传热学是一门研究热量传递客观规律的学科。众所周知，凡是有温度差存在的地方就一定会有热量的传递，热量将自动地由高温物体传向低温物体。传热学的基本内容系阐明各种热量传递基本方式的规律，并针对各种实际的传热现象提出其计算方法。

在制冷工艺系统中，流体的流动和热量的传递都是十分普遍的现象。例如制冷剂在压缩机或液泵的作用下在系统中的受迫流动；制冷剂在各种换热设备中与周围介质进行的热交换等等。本门课程——《制冷设备》的内容系介绍除压缩机之外的各种设备、管道和控制器件的结构原理和工作特性，以及有关的水力计算和传热计算。因此，流体力学与传热学系本门课程的重要理论基础。

由于流体流动情况和传热现象的复杂而多样，各种计算公式繁多，这里只能选择与制冷技术关系比较密切的内容进

行讨论和分析，使学习者获得必需的基础知识。

## 第一章 流体流动

### 第一节 概 述

气体和液体是物质的两种聚集状态。它们具有能够流动的共性，总称为流体。在制冷装置中参与工艺过程的制冷剂、载冷剂、冷却介质和润滑油等都是属于流体。

在制冷工艺过程中，与流体流动有关的问题有以下几方面：

**一、保持流体最适的和特定的流动条件，作为强化设备的效能和达到预定的工艺要求的依据** 这方面的问题对于制冷装置的工艺特性是十分重要的。例如在制冷换热设备中，传热过程效能的好坏与流体的流动条件有密切的关系；在另一类问题中，诸如制冷剂气液两相的分离、润滑油和制冷剂混合系的分离等设备中，则是利用流体流动条件（流速、流向等）的改变来达到预定的工艺要求。

**二、管径的合理选择** 制冷装置是由一整套的制冷机器和设备用管路（包括管子、管件和各种控制器件）连接而成的整体。管路在整个制冷装置中起着很重要的联系作用，而且管材的需用量相当可观。要使管径的选择正确而合理，就需要根据被输送流体的性质与输送量的大小，节约材料与能量消耗，以及考虑到生产操作上的安全与方便等因素，通过

计算加以确定。

**三、计算流体输送所需要的能量，选配合适的流体输送机械的型式以及确定其所需的功率** 流体在不受外力作用的情况下是静止的。若要使其流动，必须借助于流体输送机械（如泵和风机）对其施加外力，如重力或压力等；此外，流体在管路和设备中流动时还会产生阻力，阻碍流体的流动；这一类的问题在制冷设备的设计、选用和运转中是必须解决的，这就需要根据流体的性质、输送量和流动特性，以及设备的结构特性，通过一系列的计算来选配相宜的流体输送机械和相应的电机设备。

**四、流体流速、流量和压力的控制和测量** 为了保证制冷装置于安全和合理的条件下工作，以及了解运转过程中的工况，在机器设备和管路中通常装有控制和测量流体流速、流量和压力等参数的控制器件和仪表。为了做到控制和测量的精确，以及器件和仪表选用的合理，还需要了解它们的结构、工作原理、性能，以及在管路或设备上的安装要求等。

## 第二节 流体及其基本性质

流体是对于气体和液体的总称。流体与固体的区别在于流体具有很大的流动性，这是由于流体分子间的内聚力极其微小的缘故，因此，流体实际上对于拉力和剪力都没有反应，而仅能反映对它的压力变化。

在研究流体力学的一般问题时，系将流体看作是一种“连续介质”，即在研究中不考虑流体分子的运动和流体的分子力，而认为流体是充满了所研究的整个空间，流体的内部没

有任何空隙。

气体和液体同属于流体。它们有可以流动的共性，但是在性质上又有很大的区别，它们的根本区别在于当受到外加压力时，气体具有很大的可压缩性，从而缩小其原先占有的空间容积，表现为比容减小，压力升高；而液体则被看作是**不可压缩性的流体**（实际上存在很微量的可压缩性，被忽略不计）。此外，气体可以充满所给予的整个空间容积，倘若所给予的空间容积增大时，则表现为气体的体积增大、压力减小（即膨胀）；反之，当所给予的空间容积减小时，则表现为气体的体积减小、压力增大（即压缩）。而液体则没有这种性质，它只能占有其本身容量所固有的容积。

**流体的主要物理性质** 在讨论流体的流动时，首先需要了解流体的特性。流体的主要物理性质包括：重度、密度、比重、比容和粘度等。

1. **重度** 单位体积流体的重量，称为流体的重度。用符号  $\gamma$  表示，即：

$$\gamma = \frac{G}{V} \text{ [公斤/米}^3\text{]} \quad (1-1)$$

式中：G——流体的重量 [公斤]；

V——流体的体积 [米<sup>3</sup>]。

2. **密度** 单位体积流体的质量，称为流体的密度。用符号  $\rho$  表示，即：

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ [公斤} \cdot \text{秒}^2\text{/米}^3\text{]} \quad (1-2)$$

式中：m——流体的质量 [公斤·秒<sup>2</sup>/米<sup>3</sup>]；

V——流体的体积 [米<sup>3</sup>]。

因为，流体的重量等于其质量乘以重力加速度  $g$  [米/秒<sup>2</sup>]，即：

$$G = mg \text{ [公斤]} \quad (1-3)$$

将公式 (1-3) 两边各除以流体的体积  $V$ ，则可得：

$$\frac{G}{V} = \frac{m}{V}g$$

即：  $\gamma = \rho g \quad (1-4)$

公式 (1-4) 表明：流体的重度等于流体的密度乘以重力加速度。

3. 比重 流体的密度与 4 [°C] 时纯水的密度之比，称为流体的比重。用符号  $S$  表示，即：

$$S = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}} \quad (1-5)$$

由公式 (1-5) 可知， $S$  是一个比值。所以比重是没有单位的量。

4. 比容 单位重量流体的体积，称为流体的比容。用符号  $v$  表示，即：

$$v = \frac{V}{G} = \frac{1}{\gamma} \text{ [米}^3\text{/公斤]} \quad (1-6)$$

由公式 (1-6) 可知，流体的比容和重度互为倒数。

以上一些物理量表明了流体的重量（或质量）与体积的换算关系。

液体的体积随温度的变化不是太大，随压力的变化则极为微小。例如水，当压力增至 100 [大气压] 时，它的体积只比原来减小 0.5%，所以液体可当作不可压缩性流体来看待。这也是制冷压缩机必需避免走湿行程防止液击毁机的原

因。在这方面，气体则与液体截然不同，气体的体积与绝对温度成正比，而与压力成反比，其变化的幅度很大。制冷剂在气态时的各物理量可由热力性质表（或图）查得。

5. 粘度 粘度是用来量度流体粘性大小的一个物理量。

由于流体具有粘性，当流体流过固体壁面时，在垂直于流动方向上的流动速度不一样，如图 1—1 所示。如果由流动的流体中取出相邻的两层流体，设流体层间的接触面积为  $F$ ，上层的流速为  $w + dw$ ，下层的流速为  $w$ ，即两层的相对速度为  $dw$ ，层间垂直距离为  $dy$ ，根据 1686 年牛顿提出的关于两个相邻流体层间作相对移动时的内摩擦力（即粘性力）的假说，即：内摩擦力与相对移动的速度及接触面积成正比，与两相邻层间的距离成反比；内摩擦力依流体的种类不同而不同，与压力无关。

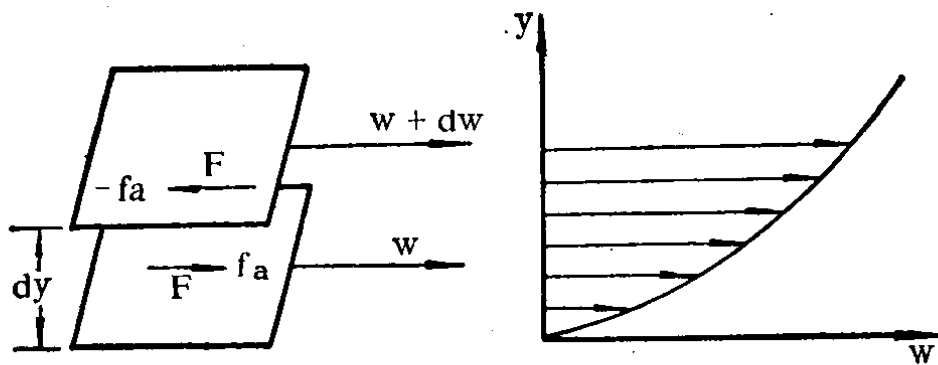


图 1—1 流体粘性力的推导

根据牛顿的假说可知：

$$f_a \propto F \frac{dw}{dy}$$



将其写成等式，则：

$$f_a = \mu F \frac{dw}{dy}$$

单位面积上的粘性力为：

$$\frac{f_a}{F} = \mu \frac{dw}{dy} \quad (1-7)$$

式中： $f_a/F$ ——单位面积上的粘性力〔公斤/米<sup>2</sup>〕；

$dw/dy$ ——垂直于流体流动方向的速度变化率，或称速度梯度〔米/秒·米〕；

$\mu$ ——比例系数，称为流体的绝对粘度，简称粘度，其值由流体的性质决定〔公斤·秒/米<sup>2</sup>〕。

公式(1-7)称为牛顿粘性定律。可知在相同的流速下，粘度愈大的流体所产生的粘性力也愈大，即流体因克服阻力而损耗的能量也愈多。所以，对于粘度较大的流体，所选取的流速应比粘度小的低一些。流体的粘度愈大，表示该种流体的流动性愈差。流体的粘度这个物理性质，对于研究流体的流动，以及在流体中进行的传热等过程具有重要的意义。

在绝对单位制中，粘度的单位用〔达因·秒/厘米<sup>2</sup>〕来表示，称为〔泊〕。由于〔泊〕的单位太大，用起来不方便，所以用〔泊〕的百分之一，即〔厘泊〕来表示。这样表示的粘度又称为“动力粘度”。

在工程计算中，需要将绝对单位制的〔厘泊〕换算成工程单位制的〔公斤·秒/米<sup>2</sup>〕。其换算式如下：

$$1 \text{ [公斤·秒/米}^2\text{]} = 9810 \text{ [厘泊]}$$

或：
$$1 \text{ [厘泊]} = 1/9810 \text{ [公斤·秒/米}^2\text{]}$$

此外，工程上有时以“运动粘度”来表示流体粘性的大