

化工工人技术理论培训教材



# 制 冷

化学工业部人事教育司 组织编写  
化学工业部教育培训中心

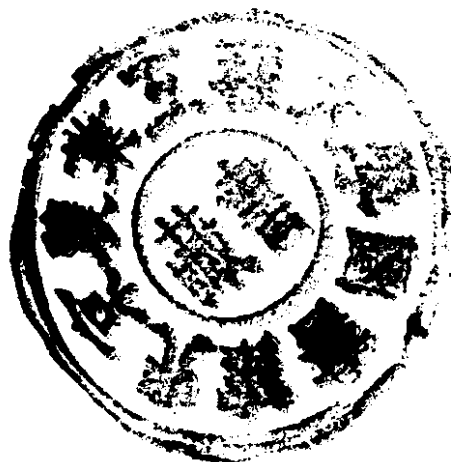
化学工业出版社

ND25/09

化工工人技术理论培训教材

# 制 冷

化学工业部人事教育司 组织编写  
化学工业部教育培训中心



399629

化学工业出版社

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

制冷/化学工业部人事教育司,化学工业部教育培训中心组织编写. —北京:化学工业出版社,1997

化工工人技术理论培训教材

ISBN 7-5025-1909-2

I. 制… I. ①化… ②化… III. 制冷-技术培训-教材  
IV. TB6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 26911 号

---

化工工人技术理论培训教材

制 冷

化学工业部人事教育司

组织编写

化学工业部教育培训中心

责任编辑:李建斌

责任校对:李 丽 张秋景

封面设计:于 兵

\*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

新华书店北京发行所经销

北京市管庄永胜印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

\*

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 6 $\frac{7}{8}$  字数 193 千字

1997 年 12 月第 1 版 1997 年 12 月北京第 1 次印刷

印 数:1—5000

ISBN 7-5025-1909-2/G·515

定 价:12.50 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换

## 前 言

为了适应化工系统工人技术等级培训的需要,提高工人的技术理论水平和实际操作技能,我们依据《中华人民共和国工人技术等级标准》和《化工系统工人技术理论培训教学计划和教学大纲》的要求,组织有关人员编写了这套培训教材。

在教材编审过程中,遵循了“坚持标准,结合实际,立足现状,着眼发展,体现特点,突出技能,结构合理,内容精炼,深浅适度”的指导思想,以“等级标准”为依据,以“计划和大纲”为蓝图,从有利于教师教学和方便工人自学出发,力求教材内容能适应化工生产技术的发展 and 现代化生产工人培训的要求。

按照“中华人民共和国工人技术等级标准”规定的化工行业 168 个生产工种的有关内容,在编制教学计划和划定大纲时,在充分理解等级标准的基础上,吸取了国外职业教育的成功经验,对不同工种、不同等级工人围绕技能所要求掌握的技术理论知识进行分析和分解,作为理论教学的基本单位,称之为“单元”。在计划和大纲中,168 个工种按五个专业大类(及公共课)将不同等级的全部理论教学内容分解为 301 个教学单元。为了方便各单位开展培训教学活动,把教学计划中一些联系较为密切的“单元”合在一起,分成 112 册出版。合订后的全套教材包括以下六部分。

无机化工类单元教材共 25 册:《流体力学基础》、《管路的布置与计算》、《物料输送》、《气相非均一系分离》、《液相非均一系分离》、《物料混合》、《固体流态化与应用》、《加热与冷却》、《蒸发》、《结晶》、《浸取与干燥》、《制冷》、《焙烧与工业炉》、《粉碎与筛分》、《电渗析》、《吸附分离》、《离子交换》、《常见的无机化学反应》、《电解及其设备》、《物料衡算与热量衡算》、《合成氨造气》、《合成氨变换》、《合成氨净化》、《合成氨压缩》和《氨的合成》。

有机化工类单元教材共 7 册:《吸收》、《蒸馏》、《萃取》、《有机化学反应(一)》、《有机化学反应(二)》、《有机化学反应(三)》和《化学反应器》。

化工检修类单元教材共 43 册:《电镀》、《腐蚀与防护》、《机械传动及零件》、《液压传动与气动》、《金属材料热处理知识》、《机械制造工艺基础》、《化工检修常用机具》、《工程力学基础》、《测量与误差》、《公差与配合》、《化工机器与设备安装》、《化工压力容器》、《展开与放样》、《化工管路安装与维修》、《钳工操作技术》、《装配和修理》、《钢材矫正与成型》、《电工材料及工具》、《焊工操作技术》、《焊接工艺》、《阀门》、《化工用泵》、《风机》、《压缩机》、《化工分析仪表(一)》、《化工分析仪表(二)》、《化工测量仪表》、《电动单元组合仪表》、《化工自动化》、《集散系统》、《仪表维修工识图与制图》、《仪表常见故障分析与处理》、《过程分析仪表》、《化工检修钳工工艺学》、《化工检修铆工工艺学》、《化工检修管工工艺学》、《化工检修焊工工艺学》、《化工防腐橡胶衬里》、《化工防腐金属喷涂》、《化工防腐金属铅焊》、《化工防腐砖板衬里》、《化工防腐塑料》以及《化工防腐玻璃钢》。

化工分析类单元教材 6 册:《化学分析的一般知识及基本操作》、《化学分析》、《电化学分析》、《仪器分析》、《化验室基本知识》和《有机定量分析》。

橡胶加工类单元教材共 11 册:《橡胶、配合剂与胶料配方知识》、《再生胶制作机理、工艺及质量检验》、《橡胶加工基本工艺》、《轮胎制造工艺方法》、《力车胎制造工艺方法》、《胶管制造工艺方法》、《胶带制造工艺方法》、《橡胶工业制品制造工艺方法》、《胶鞋制造工艺方法》、《胶乳制品制造工艺方法》和《炭黑制造工艺方法》。

另外还有公共课及管理课类单元教材共 20 册:《电工常识》、《电工基础》、《电子学一般常识》、《电子技术基础》、《机械识图》、《机械制图》、《化工管路识图》、《工艺流程与装备布置图》、《工厂照明与动力线路》、《电气识图与控制》、《电机基础及维修》、《工厂电气设备》、《工厂电气技术》、《安全与防护》、《三废处理与环境保护》、《化工计量常识》、《计算机应用基础知识》、《化工应用文书写》、《标准化基础知识》和《化工生产管



理知识》。

按照“单元”体系组织编写工人培训教材,尚是一种尝试,由于我们经验不足和教材编审时间的限制,部分教材在体系的合理性、内容的先进性、知识的连贯性和深广度的准确性等方面还不尽如人意,为此建议:

一、各单位在组织教学过程中,应按不同等级的培训对象,根据相应的教学计划和教学大纲的具体要求,以“单元”为单位安排教学。

二、工人技术理论的教学应与操作技能的培训结合起来。技术理论的教学活动除应联系本单位生产实际外,还应联系培训对象的文化基础、工作经历等实际情况,制订相应的教学方案,确定相应的教学内容,以提高教学的针对性和教学效率。

三、在教学过程中发现教材中存在的问题,可及时与我们联系,也可与教材的编者或出版单位联系,使教材中的问题得到及时更正,以利教学。

本套教材的组织编写,得到全国化工职工教育战线各方面同志的积极支持和帮助,在此谨向他们表示感谢。

化学工业部人事教育司

化学工业部教育培训中心

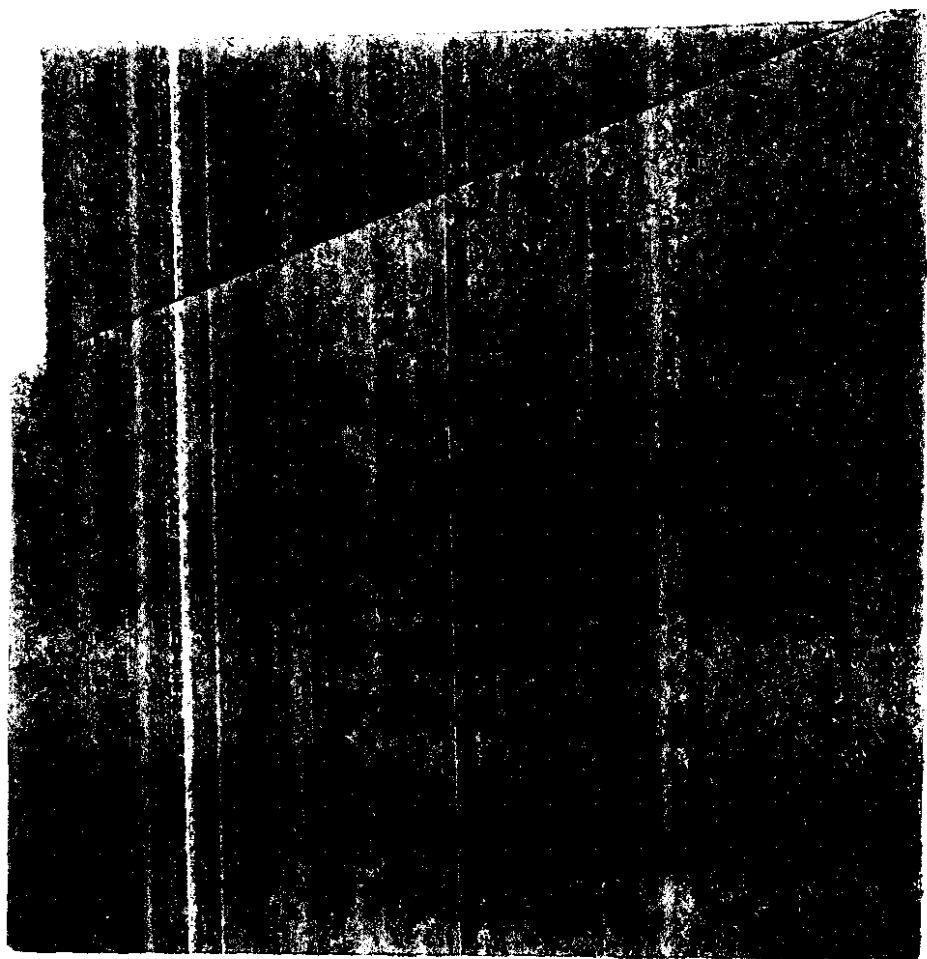
1996年3月

## 内 容 提 要

本书包括三个单元：凉水塔及循环冷却水系统、制冷原理及其应用、化工生产中常用的制冷设备。

主要内容有：凉水塔的工作原理及设备结构；循环冷却水处理的基本概念、处理工艺和药剂配方；蒸气压缩式制冷循环原理、过程及热力计算；制冷剂、载冷剂和润滑油的分类、性质及选用要求；制冷压缩机的分类、工作原理及构造；制冷设备如冷凝器、蒸发器、辅助设备、制冷剂的节流装置；制冷系统的操作、常见故障分析和排除、安全技术等。

本书内容浅显易懂，适于化工生产企业初中以上文化程度的操作工人学习、参考。



TB6-43

599629

# 目 录

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| <b>凉水塔及循环冷却水系统(无 028)</b> .....  | 1  |
| <b>第一章 绪论</b> .....              | 2  |
| 第一节 课程设置的基本内容介绍 .....            | 2  |
| 第二节 凉水塔在循环水系统中的作用 .....          | 2  |
| 第三节 湿空气的性质 .....                 | 3  |
| <b>第二章 凉水塔的工作原理及设备结构</b> .....   | 9  |
| 第一节 凉水塔的冷却原理 .....               | 9  |
| 第二节 凉水塔基本热工参数的选择 .....           | 13 |
| 第三节 凉水塔热工计算的任务 .....             | 14 |
| 第四节 凉水塔的工质平衡计算 .....             | 15 |
| 第五节 凉水塔的分类及其平面布置 .....           | 17 |
| 第六节 自然通风凉水塔和机械通风凉水塔 .....        | 19 |
| 第七节 凉水塔的布水器、收水器等设备 .....         | 21 |
| 第八节 凉水塔的填料 .....                 | 25 |
| 第九节 风机及其减速装置 .....               | 27 |
| 第十节 凉水塔系统的常见故障及处理方法 .....        | 28 |
| <b>第三章 循环冷却水处理</b> .....         | 31 |
| 第一节 循环冷却水处理的基本概念 .....           | 31 |
| 第二节 循环冷却水处理工艺 .....              | 35 |
| 第三节 循环冷却水处理的药剂配方 .....           | 39 |
| <b>制冷原理及其应用(无 029)</b> .....     | 41 |
| <b>绪论</b> .....                  | 42 |
| <b>第一章 蒸气压缩式制冷循环</b> .....       | 45 |
| 第一节 蒸气压缩式制冷循环原理及过程 .....         | 45 |
| 第二节 逆卡诺循环原理 .....                | 46 |
| 第三节 制冷剂的压-焓图及制冷循环在压-焓图上的表示 ..... | 48 |
| 第四节 液体过冷和吸气过热对制冷循环的影响 .....      | 52 |



|                                  |                           |            |
|----------------------------------|---------------------------|------------|
| 第五节                              | 单级蒸气压缩式制冷循环的热力计算 .....    | 55         |
| 第六节                              | 两级蒸气压缩式制冷循环 .....         | 62         |
| <b>第二章</b>                       | <b>制冷剂、载冷剂和润滑油 .....</b>  | <b>68</b>  |
| 第一节                              | 制冷剂 .....                 | 68         |
| 第二节                              | 载冷剂 .....                 | 74         |
| 第三节                              | 润滑油 .....                 | 80         |
| <b>化工生产中常用的制冷设备(无 030) .....</b> |                           | <b>82</b>  |
| <b>第一章 制冷压缩机 .....</b>           |                           | <b>83</b>  |
| 第一节                              | 制冷压缩机的分类 .....            | 83         |
| 第二节                              | 活塞式制冷压缩机的工作原理及构造 .....    | 84         |
| 第三节                              | 活塞式制冷压缩机的制冷量和轴功率的计算 ..... | 97         |
| 第四节                              | 螺杆式制冷压缩机 .....            | 105        |
| 第五节                              | 离心式制冷压缩机 .....            | 113        |
| <b>第二章 制冷设备 .....</b>            |                           | <b>117</b> |
| 第一节                              | 冷凝器 .....                 | 117        |
| 第二节                              | 蒸发器 .....                 | 125        |
| 第三节                              | 辅助设备 .....                | 132        |
| 第四节                              | 制冷剂的节流装置 .....            | 138        |
| <b>第三章 制冷系统及其运行 .....</b>        |                           | <b>146</b> |
| 第一节                              | 制冷系统 .....                | 146        |
| 第二节                              | 制冷系统的操作 .....             | 148        |
| 第三节                              | 制冷系统常见故障分析和排除 .....       | 159        |
| 第四节                              | 制冷系统的安全技术 .....           | 171        |
| <b>附表 常用制冷剂热力性质 .....</b>        |                           | <b>175</b> |

凉水塔及循环冷却水系统  
(无 028)

上海天原(集团)有限公司 项 阳 编

# 第一章 绪 论

## 第一节 课程设置的基本内容介绍

我国是水资源贫乏的国家,采用循环冷却水处理是合理使用水资源的一条十分有效的途径。

凉水塔及其设备,是循环冷却水系统的重要组成部分,研究和学习凉水塔及其设备的布置、选型、热传质过程与原理、结构等,对管理和搞好操作、改进凉水塔热工性能、提高冷却效率、节能降耗、提高生产效率,提高经济效益有重要作用。

本课程设置,分三章十五节。第一章绪论,主要介绍基础知识;第二章介绍凉水塔的工作原理及设备结构,并简单介绍凉水塔的热力计算和其它有关计算,以及常见故障处理方法;第三章是介绍循环冷却水处理。共计十五课时。

## 第二节 凉水塔在循环水系统中的作用

水的循环冷却系统,在现代的循环水系统中,是由循环水泵站、循环水管网、换热设备、凉水塔、加药处理系统、水的预处理和旁流处理设备等组成。循环冷却水系统方框图如图 1-1 所示:

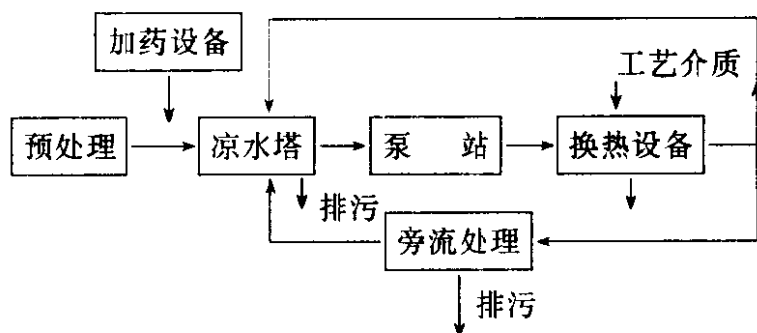


图 1-1 循环冷却水系统方框图

水经过预处理,即加药混凝、澄清、杀菌消毒、过滤(有时还需软化处理)处理之后,悬浮物已降低到一定的设计标准,就作为循环冷却水系统的补充水,加入到凉水塔的水池内。与此同时,加入一定浓度配方的水处理化学药剂,经循环水泵按一定的流速与压力要求,提升送入循环水管网,进入换热设备。在换热设备处进行热交换,工艺介质被冷却,而冷却水吸收热量,水温升高,变成热水,热水回到凉水塔而被冷却,冷却的水再次被循环使用,还有小部分热水经过旁滤处理再回到凉水塔水池。

这一循环冷却过程,由于凉水塔的蒸发损失、风吹损失、排污损失以及其它机械损失等,需要补充少量的新鲜水。而大量的水都是经过凉水塔冷却之后再反复循环使用的。由此可见,凉水塔在循环水系统中具有十分重要的作用,凉水塔冷却效果的好坏,直接影响循环水的水温,影响着工艺介质被冷却的效果,从而影响整个生产装置的效能和工艺生产的经济效益。

### 第三节 湿空气的性质

要了解凉水塔的冷却原理和冷却效果,首先要了解湿空气的性质。这样才能掌握凉水塔性能和所起的冷却作用。

湿空气是指含有一定水蒸气的空气。通常大气中的空气都含有一定量的水蒸气,因此是湿空气。干空气是指完全不含水蒸气的空气,这实际上是通常的大气中不多见的。而凉水塔排出的空气含有更多的水蒸气,所以,大都是含有饱和蒸气。而凉水塔对热水的冷却效果,与进出凉水塔空气中的水蒸气含量有极大的关系。所以,对湿空气的性质要有充分的了解。

由于通常空气中水蒸气的分压很小,因此,湿空气可以作为理想气体来处理,符合道尔顿定律,即:

湿空气的总压力  $p = \text{水蒸气分压 } p_{\text{水}} + \text{干空气分压力 } p_{\text{干}}$ 。就是:

$$p = p_{\text{水蒸气}} + p_{\text{干空气}} \quad (1-1)$$

式中  $p$ ——湿空气的总压力,Pa;

$p_{\text{水蒸气}}$ ——水蒸气的分压力,Pa;

$p_{\text{干空气}}$ ——干空气的分压力, Pa。

### 一、饱和空气和未饱和空气

在一定的温度和压力下,水不断蒸发,湿空气中的水蒸气含量不断增加,到某一时刻,水的蒸发量不再增加,即蒸发的水量等于重新凝结成水滴又回到水中的水蒸气量。这时的湿空气称为饱和空气。该时的温度  $t$  称为该压力下的饱和温度  $t_{\text{饱}}$ ,该压力称为饱和蒸气压力  $p_{\text{饱}}$ 。在此以前的空气称为未饱和的湿空气。

饱和蒸气压力  $p_{\text{饱}}$  与湿空气的温度  $t$  有关。在使用时,可以根据温度  $t$ ,在饱和水蒸气表上查得。也可以按下式近似计算:

$$p_{\text{饱}} = \left( \frac{t}{100} \right)^4 \times 101.325 \quad (1-2)$$

式中  $p_{\text{饱}}$ ——饱和蒸气压力, kPa,  $1\text{atm} = 101.325\text{kPa}$ ;

$t$ ——温度, K。

应该注意的是蒸气的某一饱和温度必对应于某一饱和压力,饱和压力变化,饱和温度也变化。

由于饱和时有凝结水出现,故饱和压力对应的饱和温度又称露点。

### 二、绝对湿度和相对湿度

湿空气的绝对湿度,是指一定容积的空气中所含水蒸气的量。也即  $1\text{m}^3$  湿空气中所含水蒸气的重量,单位  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。也就是湿空气的容重  $\gamma_{\text{气}}$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )。湿空气的绝对湿度在未饱和的空气中是可以根据温度  $t$  和蒸气分压  $p_{\text{气}}$  在过热蒸气表上查得;而对于饱和空气,可以根据温度  $t$  在饱和空气表上查得。

相对湿度就是空气中实际所含水量和同温度下饱和空气中所含水量之比值,用  $\phi$  来表示:

$$\phi = \gamma_{\text{气}} / \gamma_{\text{饱}} = p_{\text{气}} / p_{\text{饱}} \quad (1-3)$$

相对湿度的求法有露点法和干湿球温度法,以后者较为简单而精确。

相对湿度表示湿空气接近饱和的程度。相对湿度低的空气较干燥,吸水能力强,蒸发量相对较大。相对湿度大的空气则相反。

### 三、湿空气的容重 $\gamma_q$ (或 $\gamma_{sh}$ )

湿空气的容重  $\gamma_{sh}$  是每  $1\text{m}^3$  湿空气中所含干空气的重量  $\gamma_g$  和水蒸气的重量  $\gamma_q$  之和:

$$\gamma_{sh} = \gamma_g + \gamma_q \quad (1-4)$$

式中  $\gamma_{sh}$  —— 湿空气的容重,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$\gamma_g$  —— 干空气的重量,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$\gamma_q$  —— 水蒸气的重量,  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

### 四、含湿量和湿空气的比热

湿空气的含湿量是指每  $1\text{kg}$  干空气中所含水蒸气的重量。含湿量以  $x$  表示, 单位为  $\text{g}/\text{kg}$ 。根据上述含义, 也就是说在  $(1+x)\text{kg}$  的湿空气中, 有  $1\text{kg}$  的干空气和  $x\text{kg}$  水蒸气, 这个  $x$  就称为含湿量。

$$x = G_{\text{水蒸气}} / G_{\text{干空气}} \quad (1-5)$$

式中  $x$  —— 含湿量,  $\text{g}/\text{kg}$  干空气;

$G_{\text{水蒸气}}$  —— 水蒸气重量,  $\text{g}$  或  $\text{kg}$ ;

$G_{\text{干空气}}$  —— 干空气重量,  $\text{kg}$ 。

$x$  可以用其它量来表示和计算:

$$x = 622 \frac{\phi p_{\text{饱}}}{p - p_{\text{饱}}} = 622 \frac{p_{\text{水蒸气}}}{p_{\text{干空气}}} \quad (1-6)$$

由上式可知, 在一定的的大气压下, 空气中含湿量  $x$ , 随水蒸气分压的增大而增加。

湿空气的比热  $c_{sh}$  是总重量为  $1\text{kg}$  的干空气和一定含湿量的水蒸气的湿空气, 当温度升高  $1^\circ\text{C}$  时所需要的热量, 称为湿空气的比热。即:

$$c_{sh} = c_s + c_h x \quad (1-7)$$

式中  $c_{sh}$  —— 湿空气的比热,  $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$c_s$  —— 干空气比热, 在  $< 100^\circ\text{C}$  时约为  $0.24 \times 4.186\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) \doteq 1.0\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$c_h$  —— 水蒸气比热, 约为  $0.47 \times 4.186\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) \doteq 1.97\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ 。

在凉水塔中水的蒸发冷却的实际计算中, 湿空气的比热一般采用  $c_{sh} = 0.25 \times 4.186\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) = 1.05\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ 。

### 五、湿空气的焓 $I_{sh}$

湿空气的焓就是湿空气中含有的热量。其值等于 1kg 干空气和  $x$ kg 水蒸气含有的热量之和。即：

$$I_{sh} = I_s + I_h x \quad (1-8)$$

式中  $I_{sh}$ ——湿空气的焓, kJ/kg;

$I_s$ ——干空气的焓, kJ/kg;

$$I_s = c_s \theta = 0.24 \times 4.186 \theta = 1.0 \theta$$

式中  $\theta$ ——空气的干球温度, C;

$I_h$ ——水蒸气的焓, kJ/kg;

$x$ ——含湿量, g/kg 干空气。

水蒸气的焓  $I_h$  包括两个部分：

① 气化热(潜热)

$$i_0 = 595 \times 4.186 = 2490, \text{kJ/kg}$$

② 显热

$$h_0 = 0.47 \times 4.186 \times \theta = 1.97 \theta, \text{kJ/kg}$$

因此,  $I_h = 2490 + 1.97 \theta, \text{kJ/kg}$

在实际使用时由表查得。

### 六、湿空气焓湿图

焓湿图是湿空气的各项参数,例如:相对湿度、含湿量、热焓、温度等相互关系图,如图 1-2 所示。

焓湿图在使用上是很方便的,它可根据四项热力参数中任意选二项,即可以在图上查出其它两项,对于了解凉水塔运行状况,以及热工计算上都有用处。

例如:已知湿空气的温度(干球)为 35°C,相对湿度  $\phi = 0.60$ ,求各热力参数。

在图中从  $\theta = 35^\circ\text{C}$  与  $\phi = 0.6$  的交点  $P$  作温度坐标平行线,交含湿量坐标于 0.022,即该空气含湿量为 0.022kg/(kg·干空气)。自  $P$  作焓值线平行线,交焓值坐标于 22,即该空气在这一工况下焓值是 22 大卡/公斤·干空气。



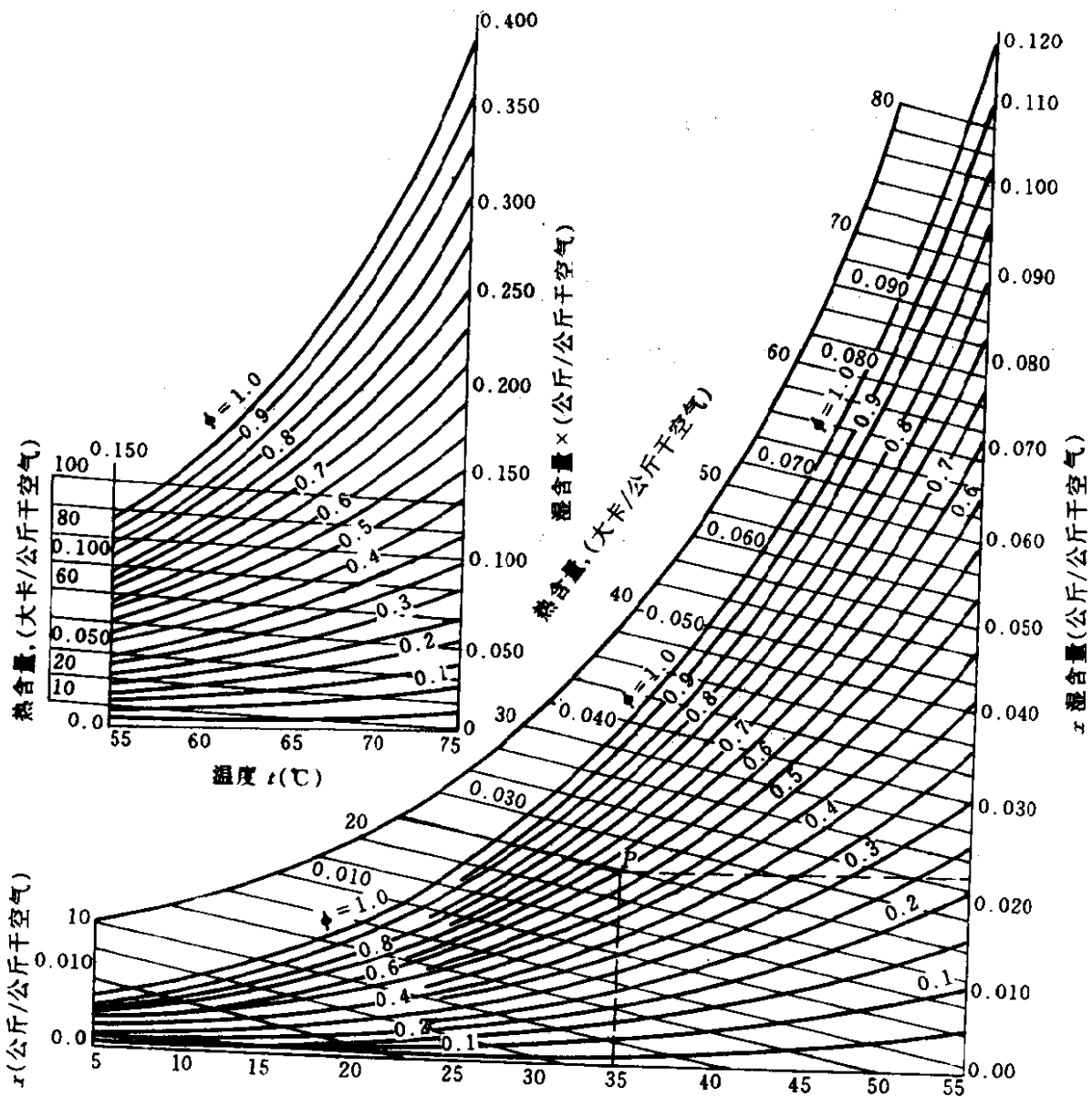


图 1-2 湿空气的焓湿图

$$1\text{kcal} = 4.186\text{kJ}$$

从焓湿图可以得到下列关系：

①当温度  $\theta$  不变，则  $\phi$  和  $i$  值均随  $x$  的增减而增减，在  $\phi=1.0$  时，含湿量  $x$  和焓值都达到该情况下最大值，即达饱和状态。

②当  $x$  为常数时， $i$  随  $\theta$  的增减而增减。而  $\phi$  随  $\theta$  的降低而增加。当在这一  $x$  值降到  $\phi=1.0$  时，空气达到饱和，有凝结水出现。这时空气湿度达到该含湿量时最小值。

③当  $i$  为常数时，湿空气的散热量和吸热量相等。此时， $\phi$  随  $x$  增加

而增加,但  $\theta$  随  $x$  增加而降低。当  $\theta$  达最低时,空气达到饱和。

④当  $\phi$  不变时, $\theta$ 、 $x$ 、 $i$  均同时增减。

### 七、干球温度和湿球温度

干球温度是指用一般温度计所测得的温度。

湿球温度  $\tau$  代表由空气传递给水的热量达到稳定状态时的水的温度。也是该气温条件下,水被冷却所能达到的最低温度。在这个温度下,水停止向水气交界面传递热量,此时,由空气向水气界面传递的热量达到最大值,湿球温度是干球温度和含湿量的函数。在数值上与空气的绝热饱和温度值相等。

### 思 考 题

- 1-1 设置凉水塔及循环冷却水课程的目的是什么?
- 1-2 循环冷却水系统由哪些设备组成? 试描方框图。
- 1-3 凉水塔在循环冷却水系统中的作用如何?
- 1-4 试述湿空气的性质?
- 1-5 水的饱和蒸气压与湿空气的温度有什么关系?
- 1-6 什么是绝对湿度和相对湿度?
- 1-7 空气的含湿量与水蒸气分压有什么关系? 为什么?
- 1-8 什么是湿空气的焓?
- 1-9 如何利用焓湿图来查热力参数?
- 1-10 从焓湿图上如何分析  $i$  值、 $\phi$  及  $x$  等的相互关系?