



# 空调与制冷技术手册

(第2版)

陈沛霖 岳孝方 主编

陈沛霖 岳孝方 秦慧敏  
汪文晔 刘传聚 陈汝东 编著  
张恩泽

同济大学出版社

## 内 容 提 要

本手册是一本空调与制冷技术专业的工具书。内容分空调和制冷两大部分。书中系统地介绍了空调和制冷技术的基本原理和有关应用问题。取材原则以实用为主,宗旨是使读者借助本手册能独立解决空调和制冷系统中运行和测定的技术问题,还能解决设备维护的常见技术问题。此外,有关运行和管理工程技术人员能借助于本手册作一般的工程设计计算。

本手册供空调和制冷工程技术人员参考,也可作为专业培训教材和大专院校有关专业师生的教学参考书。

责任编辑 解明芳

封面设计 李志云

## 空调与制冷技术手册

(第2版)

陈沛霖 岳孝方 主编

同济大学出版社出版

(上海市四平路1239号 邮编:200092)

新华书店上海发行所发行

望亭发电厂印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 29.5 插页 28 字数 860千字

1999年4月第2版 1999年4月第1次印刷

印数 1—6 000 定价:43.00元

ISBN 7-5608-0594-9/TB·17

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,

请向承印厂联系调换

## 再版前言

本书自 1990 年第 1 版问世以来,空调与制冷技术又有了明显的发展。如为了节能和降低空调用电峰值,蓄冷技术受到普遍的关注,且已有良好的发展趋势;空调工程中愈来愈多地采用非电制冷方法,其中主要是吸收式制冷,目前在空调冷源中它已处于与压缩式制冷并列的地位;新的 HFC 和 HCFC 类型制冷剂的应用(用以替代禁用的或即将禁用的 CFC 类型制冷剂)使得制冷设备产品有许多变化等。再版时本书完全有必要将这些最新发展补充到相关的章节中,使本书能反映最新科技成就。

根据读者反馈的意见,我们精简了那些在空调、制冷工程中不常涉及的内容,以压缩篇幅。

对第 1 版中存在的差错,再版时作了订正。新增加的 9.6.1 和 9.6.2 两节分别由李峥嵘和潘毅群两位博士生编写。

恳切希望读者继续向我们提出改进意见。

编者

1996 年 12 月

## 前 言

近年来,我国的空调事业有了迅速的发展。目前,已经有了一支庞大的从事空调和制冷设备及其系统的设计、生产、安装和运行管理的专业队伍。编写本手册的目的是向他们提供一本实用而方便的工具书。

本手册的内容侧重于介绍夏季空调的有关问题,在编排上分空调和制冷两大部分。本手册编写的宗旨是:

1. 注重“新”和“实用”。所谓“新”,就是要尽量反映近年来出现的、并得到应用的新技术和新方法。对尚属于发展中的最新动向也作简要的介绍。所谓“实用”,就是重点介绍的是常遇的应用技术问题。对每一问题,首先是简明扼要地说明其基本原理,其次是介绍它们的解决方法。凡涉及要作计算的,尽量使其图表化,以避免读者作繁复的计算。此外,还注意通过实例来介绍各种计算方法的具体应用。

2. 对不属于空调范畴,但是在原理上相同的内容,也可能视条件列入书中,如冷藏、家用电冰箱。

3. 许多基层单位常要求空调、制冷技术人员懂得基本的电工知识,为此在手册中专列一章“空调与制冷常用电工设备”以介绍空调、制冷装置中必要的电动机和其他有关电气设备的技术知识。目的是使读者参考本章后能独立解决一些基本的电气问题。

4. 书中全部应用国际制单位(除了个别地方由于资料来源问题,有些数据的单位没有完全符合国际制单位体系的规定)。考虑到我国有相当多的技术工作者目前还比较习惯于米制单位,有些数据后面用括号列出以米制单位表达的数值。此外,在书首附有国际制、米制和英制单位换算表。

本书是作者在积累了多年的教学、科研和工作实践经验的基础上编写出来的,并由陈沛霖和岳孝方主编。各编写者所承担的章次为:绪论、第1,2和第3章由陈沛霖编写;第4章和第10章的部分内容由张恩泽编写;第5,6和第8章由刘传聚编写;第7和第9章由秦慧敏编写;第10章的部分内容和第11章由汪文晃编写;第12,14,16,17,19,20章和第18章部分内容由岳孝方编写;第13,15,21章和第18章部分内容由陈汝东编写。

姜富明和赵建明两位同志也参加了编写工作。

本书是第一次出版,在今后的使用中如发现问题,再作修改和提高,热忱欢迎读者们提出改进意见。

编者

1989年3月

## 基本符号表

<p><math>a</math>——肋通系数</p> <p><math>B</math>——传热单元数</p> <p><math>C</math>——空气含尘浓度</p> <p><math>c</math>——比热、混合空气状态</p> <p><math>c_p</math>——定压比热</p> <p><math>COP</math>——制冷系数(或 <math>\epsilon</math>) 性能系数</p> <p><math>D</math>——直径</p> <p><math>d</math>——直径、含湿量 (g/kg 干空气)</p> <p><math>DN</math>——公称直径</p> <p><math>F, f</math>——面积</p> <p><math>G</math>——空气质量流量 (kg 干空气/s)</p> <p><math>G_w</math>——新风质量流量 (kg 干空气/s)</p> <p><math>h</math>——焓</p> <p><math>h_d</math>——局部阻力</p> <p><math>h_f</math>——摩擦阻力</p> <p><math>\Delta H</math>——流动阻力</p> <p><math>I, i</math>——电流</p> <p><math>K</math>——传热系数</p> <p><math>K_i</math>——冷量换算系数</p> <p><math>L</math>——空气体积流量 (<math>m^3/s</math>), 电感</p>	<p><math>q</math>——单位质量传递热量</p> <p><math>q_f</math>——热流密度</p> <p><math>R</math>——热阻、比摩阻, 电阻</p> <p><math>RH</math>——相对湿度</p> <p><math>R_s</math>——水力半径</p> <p><math>r</math>——潜热</p> <p><math>s</math>——熵</p> <p><math>t</math>——温度</p> <p><math>\Delta t</math>——温差</p> <p><math>\Delta t_o</math>——送风温差</p> <p><math>\Delta t_w</math>——日较差</p> <p><math>V</math>——体积</p> <p><math>v</math>——速率、比容</p> <p><math>W</math>——水质量流量(kg/s), 湿负荷、加湿量</p> <p><math>w</math>——室外状态, 单位质量功</p> <p><math>X</math>——阻抗</p> <p><math>x</math>——含湿量(kg/kg 干空气), 干度</p> <p><math>\alpha</math>——表面换热系数</p> <p><math>\alpha_r</math>——模比系数</p> <p><math>l</math>——长度, 机器露点, 厚度(或 <math>\delta</math>)</p> <p><math>l_f</math>——冷负荷</p> <p><math>M</math>——质量流量、室内发尘量</p> <p><math>N</math>——功率</p>
--	---

$N_s$ ——轴功率  
 $N_o$ ——电机功率  
 $n$ ——转速,室内状态,换气冷数  
 $n_o$ ——诱导比  
 $n_s$ ——比转数  
 $o$ ——送风状态  
 $P, p$ ——压强(压力)  
 $\Delta P$ ——压头  
 $n$ ——转数  
 $Q$ ——房间热负荷(得热量或耗热量)  
 $Q_k$ ——冷凝器热负荷  
 $Q_o$ ——制冷量  
 $\nu$ ——水当量比

$\xi$ ——厚度(或  $l$ )  
 $\epsilon$ ——热湿比,接触系数、绝对粗糙度,制冷系数(或  $COP$ )  
 $\zeta$ ——局部阻力系数,热系数  
 $\eta$ ——效率  
 $\eta_f$ ——肋片效率  
 $\eta_v$ ——容积效率  
 $\lambda$ ——导热系数、摩擦阻力系数  
 $\mu$ ——喷水系数  
 $\nu$ ——运动粘滞系数  
 $\xi$ ——析湿系数、溶液浓度  
 $\rho$ ——密度  
 $\tau$ ——时间,肋化系数  
 $\phi_o$ ——肋表面全效率  
 $\psi$ ——冷凝器负荷系数

## 下 标

$a$ ——空气  
 $b$ ——饱和,表面  
 $f$ ——肋片  
 $g$ ——干空气  
 $k$ ——冷凝  
 $l$ ——露点,冷冻水  
 $n$ ——室内  
 $o$ ——送风,蒸发

$q$ ——水蒸气  
 $q_b$ ——饱和水蒸气  
 $s$ ——湿球  
 $v$ ——容积  
 $w$ ——室外,水  
 $max$ ——最大  
 $min$ ——最小



### 单位换算表

量	国际制单位		米制单位		英制单位		换算关系
	名称	符号	名称	符号	名称	符号	
长度	米	m	米	m	英尺	ft	$1\text{m} = 100\text{cm} = 1000\text{mm} = 1000000\mu\text{m}$
	厘米	cm	厘米	cm	英寸	in	$1\text{mm} = 1000\mu\text{m}$ $1\text{ft} = 0.3048\text{m}$
面积	平方米	$\text{m}^2$	平方米	$\text{m}^2$	平方英尺	$\text{ft}^2$	$1\text{m} = 3.281\text{ft}$
	平方厘米	$\text{cm}^2$	平方厘米	$\text{cm}^2$	平方英寸	$\text{in}^2$	$1\text{ft} = 12\text{in}$ $1\text{in} = 0.0254\text{m} = 25.4\text{mm}$ $1\text{m} = 30.37\text{in}$ $1\text{yd} = 3\text{ft} = 0.9144\text{m}$
体积	立方米	$\text{m}^3$	立方米	$\text{m}^3$	立方英尺	$\text{ft}^3$	$1\text{ft}^2 = 0.0929\text{m}^2$ $1\text{m}^2 = 10.7639\text{ft}^2$ $1\text{in}^2 = 645.16 \times 10^{-6}\text{m}^2 = 6.4516\text{cm}^2$ $1\text{m}^2 = 1550.003\text{in}^2$
	立方厘米	$\text{cm}^3$	立方厘米	$\text{cm}^3$	立方英寸	$\text{in}^3$	$1\text{L} = 1 \times 10^{-3}\text{m}^3 = 1000\text{cm}^3$ $1\text{m}^3 = 1000\text{L} = 1 \times 10^6\text{cm}^3$ $1\text{ft}^3 = 2.831685 \times 10^{-2}\text{m}^3$ $1\text{m}^3 = 35.31466\text{ft}^3$ $1\text{in}^3 = 1.638706 \times 10^{-5}\text{m}^3$ $1\text{m}^3 = 61023.76\text{in}^3$ $1\text{gal}(\text{UK}) = 4546.092\text{cm}^3$ $1\text{gal}(\text{US}) = 3785.412\text{cm}^3$

续表

量	国际制单位		米制单位		英制单位		换算关系
	名称	符号	名称	符号	名称	符号	
质量流量	千克(公斤)每 秒	kg/s	千克(公斤)每 小时	kg/h	磅每分	lb/min	$1\text{kg/h} = 2.7778 \times 10^{-4}\text{kg/s}$ $1\text{kg/s} = 3600\text{kg/h}$ $1\text{lb/min} = 7.559873 \times 10^{-3}\text{kg/s}$ $1\text{kg/s} = 132.27735\text{lb/min}$
	立方米每秒	$\text{m}^3/\text{s}$	立方米每 小时	$\text{m}^3/\text{h}$	立方英尺每 分	$\text{ft}^3/\text{min}$	$1\text{m}^3/\text{h} = 2.7778 \times 10^{-4}\text{m}^3/\text{s}$ $1\text{m}^3/\text{s} = 3600\text{m}^3/\text{h}$ $1\text{ft}^3/\text{min} = 4.719474 \times 10^{-4}\text{m}^3/\text{s}$ $1\text{m}^3/\text{s} = 2118.88\text{ft}^3/\text{min}$ $1\text{ft}^3/\text{min} = 1.6990\text{m}^3/\text{h}$ $1\text{m}^3/\text{h} = 0.5886\text{ft}^3/\text{min}$
速度	米每秒	$\text{m/s}$	米每秒	$\text{m/s}$	英尺每分	$\text{ft}/\text{min}$	$1\text{ft}/\text{min} = 5.08 \times 10^{-3}\text{m/s}$ $1\text{m/s} = 196.85\text{ft}/\text{min}$
质量	千克(公斤)克 毫克	kg g mg	公斤力·秒 <sup>2</sup> /米 千克(公斤)	$\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}$ kg	磅	lb	$1\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m} = 9.80665\text{kg}$ $1\text{kg} = 1000\text{g}$ $1\text{g} = 1000\text{mg}$ $1\text{lb} = 0.4535924\text{kg}$ $1\text{kg} = 2.204622\text{lb}$

续表

量	国际制单位		米制单位		英制单位		换算关系
	名称	符号	名称	符号	名称	符号	
密度	公斤每立方米	$\text{kg/m}^3$	公斤每立方米	$\text{kg/m}^3$	磅每立方英尺	$\text{lb/ft}^3$	$1\text{kg/m}^3 = 6.24280 \times 10^{-2}\text{lb/ft}^3$ $1\text{lb/ft}^3 = 16.0185\text{kg/m}^3$
							$1\text{kPa} = 1000\text{Pa}$ $1\text{MPa} = 1000000\text{Pa}$ $1\text{Pa} = 0.101972\text{mmH}_2\text{O}$ $1\text{mmH}_2\text{O} = 1\text{kgf/m}^2 = 9.80665\text{Pa}$ $1\text{kPa} = 101.972\text{mmH}_2\text{O} = 7.50062\text{mmHg}$ $1\text{mmHg} = 0.133322\text{kPa}$ $1\text{MPa} = 9.86923\text{atm}$ $1\text{atm} = 0.101325\text{MPa} = 101.325\text{kPa}$ $= 101325\text{Pa} = 760\text{mmHg}$ $1\text{mmHg} = 13.5951\text{mmH}_2\text{O}$ $1\text{psi} = 6894.757\text{Pa} = 703.072\text{mmH}_2\text{O}$ $= 51.715\text{mmHg}$
压力	帕	Pa	公斤力每平方厘米	$\text{kgf/cm}^2$			
	千帕	kPa	公斤力每平方厘米	$\text{kgf/m}^2$	磅力每平方英寸	psi	
	兆帕	MPa	毫米水柱 毫米汞柱 标准大气压	mmH <sub>2</sub> O mmHg atm	磅力每平方英寸	$\text{lbf/in}^2$	

续表

量	国际制单位		米制单位		英制单位		换算关系
	名称	符号	名称	符号	名称	符号	
热、能、功	焦	J	卡	cal	英热单位	Btu	1kJ = 1000J
	千焦	kJ	千卡 千瓦小时	kcal kWh			1cal = 4.1868J 1J = 0.2388cal 1kcal = 4.1868kJ 1kJ = 0.2388kcal 1kWh = 3600kJ 1kJ = 2.778 × 10 <sup>-4</sup> kWh 1Btu = 1.055kJ = 0.252kcal 1kJ = 0.948Btu 1kcal = 3.968Btu
热流、功率	瓦	W	千卡 每小时	kcal/h	英热单位 每小时 冷吨	Btu/h RT	1kW = 1000W
	千瓦	kW					1kcal/h = 1.163W 1W = 0.8598kcal/h 1Btu/h = 0.293W 1W = 3.412Btu/h 1Btu/h = 0.252kcal/h 1kcal/h = 3.968Btu/h 1RT = 3.52kW

续表

量	国际制单位		米制单位		英制单位		换算关系
	名称	符号	名称	符号	名称	符号	
质量比热	千焦每千克(公斤)摄氏度	$\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$	千卡每公撮摄氏度	$\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$	英热单位每磅华氏度	$\text{Btu/lbF}$	$1\text{kcal/kg}^\circ\text{C} = 4.1868\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$ $1\text{kJ/kg}^\circ\text{C} = 0.2388\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$ $1\text{Btu/lbF} = 4.1868\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$ $1\text{kJ/kg}^\circ\text{C} = 0.2388\text{Btu/lbF}$ $1\text{Btu/lbF} = 1\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$
传热系数	瓦每平方米摄氏度	$\text{W/m}^2^\circ\text{C}$	千卡每小时平方米摄氏度	$\text{kcal/hm}^2^\circ\text{C}$	英热单位每小时平方英尺华氏度	$\text{Btu/hft}^2\text{F}$	$1\text{kcal/hm}^2^\circ\text{C} = 1.163\text{W/m}^2^\circ\text{C}$ $1\text{W/m}^2^\circ\text{C} = 0.8598\text{kcal/hm}^2^\circ\text{C}$ $1\text{Btu/hft}^2\text{F} = 5.6783\text{W/m}^2^\circ\text{C}$ $1\text{W/m}^2^\circ\text{C} = 0.1761\text{Btu/hft}^2\text{F}$ $1\text{Btu/hft}^2\text{F} = 4.882\text{kcal/hm}^2^\circ\text{C}$
导热系数	瓦米每米摄氏度	$\text{W/m}^\circ\text{C}$	千卡每小时米摄氏度	$\text{kcal/hm}^\circ\text{C}$	英热单位每小时英尺华氏度	$\text{Btu/hftF}$	$1\text{kcal/hm}^\circ\text{C} = 1.163\text{W/m}^\circ\text{C}$ $1\text{W/m}^\circ\text{C} = 0.8598\text{kcal/hm}^\circ\text{C}$ $1\text{Btu/hftF} = 1.731\text{W/m}^\circ\text{C}$ $1\text{W/m}^\circ\text{C} = 0.578\text{kcal/hm}^\circ\text{C}$ $1\text{Btu/hftF} = 1.488\text{kcal/hm}^\circ\text{C}$
温度	摄氏度	$^\circ\text{C}$	摄氏度	$^\circ\text{C}$	华氏度	F	华氏度 = $\frac{9}{5} \times$ 摄氏度 + 32 摄氏度 = $\frac{5}{9}$ (华氏度 - 32)

# 目 录

基本符号表 .....	( I )
单位换算表 .....	( III )

## 第一篇 空气调节

第 1 章 湿空气的性质 .....	( 4 )
1.1 湿空气的组成 .....	( 4 )
1.2 湿空气的状态 .....	( 5 )
1.3 湿空气参数的计算 .....	( 11 )
1.3.1 已知空气的温度和相对湿度,求其他参数 .....	( 11 )
1.3.2 已知空气的温度和含湿量,求其他参数 .....	( 12 )
1.3.3 已知空气的焓和含湿量,求温度和相对湿度 .....	( 12 )
1.3.4 已知空气的温度和焓,求含湿量和相对湿度 .....	( 13 )
1.4 湿空气焓湿图 .....	( 13 )
1.5 焓湿图的应用 .....	( 15 )
1.5.1 热湿比 .....	( 16 )
1.5.2 等湿加热或等湿冷却 .....	( 17 )
1.5.3 等焓加湿 .....	( 17 )
1.5.4 等温加湿 .....	( 18 )
1.5.5 减焓减湿 .....	( 19 )
1.5.6 两种不同状态空气的混合 .....	( 20 )
1.5.7 应用实例 .....	( 22 )
1.6 湿球温度和露点温度 .....	( 26 )
1.6.1 湿球温度 .....	( 26 )

1.6.2	露点温度	(27)
1.7	湿空气的密度	(29)
1.8	湿空气参数的表格	(30)
1.8.1	已知空气的温度 $t$ 和含湿量 $x$ , 查空气的焓 $h$	(30)
1.8.2	已知空气的温度 $t$ 和所在地区, 查饱和空气的焓 $h_b$	(30)
1.8.3	已知空气的温度 $t$ 和所在地区, 查饱和空气的含湿量 $d_b$ ( $d_b = 1000x_b$ )	(37)
1.8.4	已知空气的温度 $t$ 和相对湿度 $RH$ , 查空气的含湿量 $d$ ( $d = 1000x$ )	(57)
1.8.5	已知空气的温度 $t$ 和含湿量 $d$ ( $d = 1000x$ ), 查相对湿度 $RH$	(57)
1.8.6	已知干球温度 $t$ 和干湿球温差 $\Delta t$ , 求空气的含湿量 $d$ ( $d = 1000x$ )	(57)
1.8.7	已知空气的温度 $t$ 和相对湿度 $RH$ , 查空气的湿球温度 $t_s$	(58)
1.8.8	已知空气的温度 $t$ 和含湿量 $d$ ( $d = 1000x$ ), 查湿空气的密度 $\rho$	(58)
<b>第2章</b>	<b>室内和室外空气设计参数</b>	<b>(91)</b>
2.1	室内空气设计参数	(91)
2.1.1	舒适性空调的室内空气设计参数	(91)
2.1.2	工艺性空调的室内空气设计参数	(93)
2.2	室外空气设计参数	(95)
<b>第3章</b>	<b>空调热湿负荷和送风量的确定</b>	<b>(102)</b>
3.1	计算空调热湿负荷的目的	(102)
3.2	空调房间送风量和送风状态参数的确定	(103)
3.3	送风中的新风量	(107)
3.4	室内热源造成的负荷	(109)
3.4.1	人体散热和散湿	(109)

3.4.2	照明灯具散热 .....	(111)
3.4.3	用电设备的散热 .....	(111)
3.4.4	其他设备散热 .....	(112)
3.5	室外热源造成的负荷 .....	(112)
3.5.1	关于太阳的基本知识 .....	(113)
3.5.2	关于室外空气温度 .....	(115)
3.5.3	通过玻璃窗进入室内的太阳辐射热 .....	(116)
3.5.4	通过窗、外墙和屋顶从室外传进室内的热量 .....	(134)
3.6	新风负荷和制冷系统负荷 .....	(143)
3.7	空调负荷的概算指标 .....	(144)
附录	传热系数的计算方法 .....	(145)
<b>第4章</b>	<b>空调设备</b> .....	<b>(150)</b>
4.1	空气的热、湿处理设备 .....	(150)
4.1.1	空气热、湿处理的途径及使用的设备 .....	(150)
4.1.2	喷水室 .....	(151)
4.1.3	表面式换热器 .....	(173)
4.1.4	空气热、湿处理的其他设备 .....	(202)
4.2	空气的净化处理设备 .....	(207)
4.3	常用的空调设备 .....	(216)
<b>第5章</b>	<b>空气调节系统</b> .....	<b>(221)</b>
5.1	全空气空调系统的原理及组成 .....	(222)
5.1.1	系统的组成 .....	(222)
5.1.2	系统的工作原理 .....	(223)
5.2	全空气空调系统的运行管理 .....	(234)
5.2.1	新风状态变化时的运行调节方法 .....	(234)
5.2.2	室内负荷变化时的运行调节方法 .....	(237)
5.2.3	空调系统运行中的故障及排除 .....	(237)
5.3	风机盘管空调系统的原理及组成 .....	(239)



5.3.1	系统布置、新风供给方式及水管系统 .....	(240)
5.3.2	风机盘管机组的选择计算 .....	(244)
5.4	风机盘管空调系统的运行管理 .....	(247)
5.4.1	风机盘管机组的局部调节方法 .....	(247)
5.4.2	风机盘管空调系统的全年运行调节 .....	(248)
5.4.3	维护管理 .....	(248)
5.5	空调系统的其他形式 .....	(249)
5.5.1	水源热泵空调系统 .....	(249)
5.5.2	带有定风量末端装置(风机混合箱) 的变风量空调系统 .....	(252)
5.6	空调系统的气流组织 .....	(255)
5.6.1	房间气流组织形式 .....	(255)
5.6.2	气流组织的计算 .....	(258)
<b>第6章</b>	<b>风管系统</b> .....	<b>(269)</b>
6.1	风管系统的设计 .....	(269)
6.1.1	风管系统设计的原则 .....	(269)
6.1.2	风管阻力计算 .....	(273)
6.1.3	风管系统设计中的几个问题 .....	(308)
6.2	风管系统的保温 .....	(310)
6.2.1	保温层厚度的计算 .....	(310)
6.2.2	保温材料的选择 .....	(314)
6.3	空调工程中常用通风机 .....	(315)
6.3.1	通风机的特性 .....	(316)
6.3.2	通风机在管路系统中的工作 .....	(321)
6.3.3	离心式通风机 .....	(323)
6.3.4	轴流式通风机 .....	(327)
6.3.5	通风机的其他形式 .....	(329)
<b>第7章</b>	<b>水管系统</b> .....	<b>(333)</b>
7.1	水管系统的形式 .....	(333)