

中国制冷学会制冷专业

工程师继续教育系列 丛书



制冷

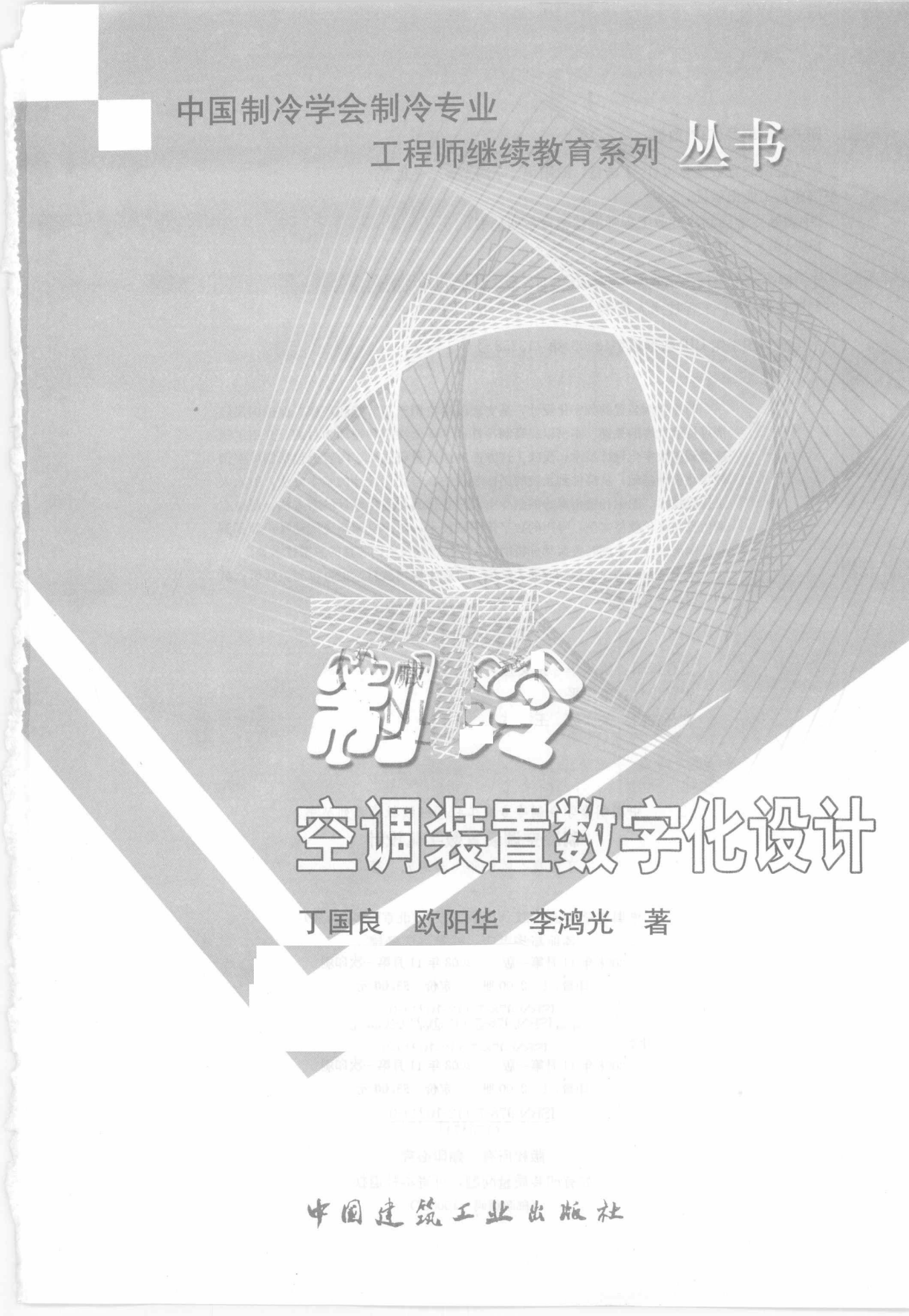
空调装置数字化设计

丁国良 欧阳华 李鸿光 著

中国建筑工业出版社

中国制冷学会制冷专业

工程师继续教育系列 丛书



制冷

空调装置数字化设计

丁国良 欧阳华 李鸿光 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

制冷空调装置数字化设计/丁国良, 欧阳华, 李鸿光著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2008

(中国制冷学会制冷专业工程师继续教育系列丛书)

ISBN 978-7-112-10244-0

I. 制… II. ①丁…②欧…③李… III. 数字技术-应用-制冷-
空气调节器-设计-工程技术人员-终生教育-教材 IV. TB657.2-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 113258 号

制冷空调装置的数字化设计,是实现制冷空调产品节能和环保、促进国民经济可持续发展的关键。本书以提高制冷性能、降低噪声和振动为目的,介绍了制冷空调的数字化设计技术,反映了这方面的最新科研成果。内容上包括制冷空调数字化设计基础,从部件到系统的制冷装置仿真与优化设计的基本方法,引入人工智能技术、图论和遗传算法的制冷空调装置仿真与优化设计的新方法,制冷空调仿真与优化软件实例,噪声的数字化测试技术,制冷空调装置气动噪声源预测与低噪声设计,空调装置振动分析的数字化技术以及空调装置的减振技术等。

本书可作为制冷空调专业的大学生、研究生课程教材,也可供相关科研人员和工程技术人员参考。

*

责任编辑:姚荣华 张文胜

责任设计:董建平

责任校对:关 健 王雪竹

中国制冷学会制冷专业工程师继续教育系列丛书

制冷空调装置数字化设计

丁国良 欧阳华 李鸿光 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天成排版公司制版

北京二二〇七工厂印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:23 字数:574 千字

2008 年 11 月第一版 2008 年 11 月第一次印刷

印数:1—2500 册 定价:55.00 元

ISBN 978-7-112-10244-0

(17047)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

中国制冷学会
制冷专业工程师继续教育系列丛书编委会

主 编：彦启森

副主编：王如竹 李连生 申 江

编 委：(以姓氏笔画排列)

于志强	马国远	王如竹	申 江	由世俊	闫泽生
何国庚	李百战	李先庭	李连生	张 旭	张 华
张 桃	张小松	张秀平	张晓兰	张建一	陈光明
陈汝杰	杨利民	赵之海	胡松涛	彦启森	姚 杨
郭开华	黄 翔	曹小林	谢 晶	解国珍	

序 言

为适应我国制冷行业的迅猛发展,提高国际竞争能力,中国制冷学会经常务理事会讨论通过,于2006年4月成立中国制冷学会继续教育工作委员会。

继续教育工作委员会的宗旨是开展制冷专业技术人员的继续教育,促进在职专业技术人员知识更新,及时掌握新知识、新技术、新技能,提高在职专业技术人员的素质和能力,加速制冷专业高层次技术人员队伍的建设 and 青年人才的培养。继续教育工作委员会将在调查研究我国制冷专业技术人员继续教育状况的基础上,促进高等院校、科研单位、企业在制冷专业发展与继续教育方面的研讨与合作,实施中国制冷学会制冷专业技术人员资格认证的教育培训,并举办高级技术人员培训班。

为实现上述目标,继续教育工作委员会成立了以彦启森教授为主编,王如竹教授、李连生教授、申江教授为副主编,中国制冷学会继续教育工作委员会全体委员为编委的制冷专业技术人员继续教育系列教材编委会,负责制冷专业工程师继续教育系列丛书的编写工作。

相信在广大编委、作者和读者的共同努力下,中国制冷学会的继续教育工作会议会有一个美好的明天。

制冷专业工程师继续教育系列丛书编委会

前 言

制冷空调装置包括冰箱、空调(含汽车空调)、冷库等装置,与人们的衣、食、住、行密切相关,是在国民经济中占有相当份额的重要产业。我国的制冷空调产业在世界上也占有重要的地位。我国是世界制冷空调产品的重要生产基地,以空调器为例,全球各地使用的空调器大部分是在我国生产的。

作为制冷空调业的工作者,在看到这个行业为满足中国和世界其他国家及地区的需求,以及为促进国民经济的发展做出很大贡献的同时,也应当清醒地认识这个行业的发展所带来的负面效应,以及我们为克服这些负面效应所应承担的责任。

节能和环保是现在全世界都在不得不追求而又不易达到的目标,而制冷空调产品的大量生产与使用是造成这一困难局面的重要因素。仅是空调在城市中夏季的耗电量,就可以占到城市总用电的40%,成为我国季节性缺电的主要原因,同时空调的保有量以每年15%的速度在增长,导致空调的耗电量持续不断地增长。由于其他制冷产品的社会保有量也在不断增加,这些产品在使用中消耗的能源不断上升。同时,这些产品在生产过程中也消耗大量能源。因此在社会的能源消耗不断增加的现状中,制冷空调业发展的因素是很重要的。

在增加能耗的同时,制冷空调业的发展对于环境和资源也造成了很大的影响。制冷剂对于臭氧层的破坏,是在30年前就提出的环境问题,虽然这个问题有了较大的改观,但还没有完全解决。制冷空调产业还加剧了温室效应这个严重的环境问题。温室效应来自两个方面:一是制冷空调的使用中需要大量耗电,而很多发电方式会产生大量的温室气体;二是制冷剂大多为温室气体,而这些制冷剂在经过制冷装置的使用期后不少会排入大气,从而加剧了温室效应。由于制冷空调产品的生产需要消耗大量的原材料,因此对于资源也造成很大的压力。近五年中铜的价格上涨了3倍,就与制冷空调业的大量用铜对于铜资源造成的压力有着密切关系。

为了使得制冷空调产品更加节能环保,有很多技术需要开发,其中一项技术就是新的设计技术。传统上使用的设计方法,有许多需要改进之处。采用传统的设计方法时,先定下产品的性能目标(包括热力性能、噪声性能),然后推断其工作状况,最后确定产品的结构。虽然这个设计思路目标明确,容易理解,但是设计出来的产品的实际性能往往与预想有很大的差别。这是因为采用传统的设计方法时,并没有一套完整描述整个系统特性的模型,它所包含的仅是经过高度简化,能反映系统部分特性的模型。如果仅仅按照这样一套设计过程进行工作的话,即便设计方法绝对准确,但仍然有许多不尽人意的地方。因此,传统设计过程常依赖于大量的实验,需要经历不断重复设计、制作样机、样机实验、改变设计、再制作样机、再样机实验这样一个过程。由于这个过程费用和时间消耗都很大,因此重复的次数不能很多,所设计出来的产品与可能达到的最优设计之间会有相当大的差距。

数字计算机的快速发展,也使得数字仿真技术得到了快速发展,并单独或者结合优化算法应用于产品设计中。由于这些设计技术是建立在数字计算机的基础上,本书称之为数字化设计技术。数字化设计的目标就是达到产品的性能最优。

制冷空调装置数字化设计的目标之一是提高制冷性能,降低能耗。这不仅需要对于制冷系统的各个部件进行优化设计,而且还需要通过系统的合理匹配来达到。传统的简单设计加大量实验的方法,会花费大量的时间和增加开发成本。以冰箱设计为例,传统的设计是先定下产品的性能要求,如耗电量、储藏温度等;再推断运行参数,如制冷剂的蒸发压力、冷凝压力等;最后得到作为设计目标的结构参数,如压缩机容量、蒸发器面积、毛细管长度与直径等。但是按某一环境参数进行设计时,最多能保证在这一条件下的产品性能达到要求。如果需要同时满足几个环境参数下的要求,而分别按照不同的环境条件去设计,会得到不同的设计结果,最后只能在其中进行折中。但是最后的性能会怎样,却不能直接得出,这样就使得设计变得很不可靠,从而不得不依靠大量的实验,而实验所耗费时间和费用则较大。采用计算机仿真技术,预测在各种可能方案下的性能,并进而提出优化设计的方案,则是比较好的方法。

制冷空调装置数字化设计的目标之二是降低产品的噪声。众所周知,除了空气污染和水污染外,工业社会的第三大环境污染源即为噪声污染。噪声不仅影响人们的正常工作和休息环境,也成为工业产品质量的重要评价指标之一,反映了产品的设计、制造水平。研究和控制制冷空调装置的噪声,有助于提高装置的低噪声设计水平,增强产品的竞争力。噪声的控制包括低噪声设计、降低噪声和噪声控制等内容。对于已有的装置而言,噪声控制的主要手段在于根据声源特性采用吸声、隔声及消声措施降低噪声。而对于新设计的装置,噪声的控制应从噪声源的控制出发,根据声源的发声机理及其声辐射特性,在低噪声结构和材料等方面进行优化,从而达到最优的降噪效果。在制冷空调装置研究领域的专著中,有关噪声控制方面的内容往往参照一般工业噪声控制学方面的内容,而制冷空调相关的噪声控制类专著中,也较多地集中于已有制冷空调装置的吸声、隔声和消声设计内容,极少涉及制冷空调装置噪声源的预测与控制方法。

制冷空调装置数字化设计的目标之三是降低产品的振动。振动是产生噪声的一个重要原因,减振有利于降低噪声;振动控制也是降低制冷机械的无用功耗,降低能耗的手段之一。对于运动和振动部件的应力分析可以预测运行状态的动应力,由此来预测疲劳极限和部件的寿命,提高产品的寿命,并在保证可靠性的前提下减少材料。

本书将以提高制冷性能、降低噪声和振动为目的,介绍制冷空调的数字化设计技术,内容包括:1)对于制冷空调中关键部件(如压缩机、蒸发器、冷凝器、节流装置等)的建模,对于整个装置的建模,并且在部件模型的基础上如何实现系统的数值仿真和优化,以及如何将人工智能技术、图论和遗传算法等用于制冷空调装置的仿真与优化设计。这些内容反映在第二、三、四章中。2)对于噪声部分的论述,遵循噪声控制的实际操作过程,即声学基础概念—数字化测试技术—噪声源诊断—噪声源的预测—低噪声设计,涵盖制冷空调装置的噪声控制原理和噪声源分析方法等内容。这些内容反映在第五、六章中。3)振动方面的内容将以制冷空调装置的振动特性分析和控制技术为主,总结制冷空调装置振动理论分析、数值模拟以及实验研究方面的实际科研成果。这些内容反映在第七、八章中。考虑到有些读者是首次接触制冷空调装置的数字化设计技术,本书在第一章中为后面的章节

准备了一些比较基础的内容,比如第一章第二节是第二、三、四章的基础,第一章第三节是第五、六章的基础,第一章第四节是第七、八章的基础。另外第一章第一节是对于制冷空调装置不熟悉的读者准备的。由于篇幅所限,对于基础性的知识和新的设计技术,介绍得都不可能太详细,不少内容没法包括其中。为了弥补这方面的缺憾,本书列出了较多的参考文献,如果读者在阅读本书过程中,觉得相关介绍不够详细的话,可以进一步阅读这些参考文献。也欢迎读者与作者联系。

本专著的作者都有在制冷空调装置数字化设计方面的长期研究经历,并且目前还正在承担来自国际著名制冷企业的研究课题。本书将力求反映这方面的最新科研成果。但是限于作者的知识面和研究水平,难免有不正确、不全面之处,希望读者多提宝贵意见。

本书的第二、三、四章以及第六章第四节的第二部分由丁国良执笔;第五、六章,由欧阳华执笔;第七、八章由李鸿光执笔,全书由丁国良统稿。另外韩维哲、汤志远、赵丹、彭浩参与了书稿部分内容的整理,特别是彭浩在最后的统稿中付出了很多辛劳。本书是彦启森教授生前安排的“制冷专业工程师继续教育系列丛书”中的一本,由中国制冷学会委托作者来完成此书的撰写。本书的出版得益于“制冷专业工程师继续教育系列丛书”编委会副主任王如竹教授的组织与推动,以及对于书稿内容所提出的宝贵意见。在此对于他们为本书的出版所做出的贡献表示感谢。

丁国良 欧阳华 李鸿光
于上海交通大学

目 录

主要符号表	1
第一章 制冷空调数字化设计基础	6
第一节 制冷原理与装置概述	6
第二节 仿真与优化基础	17
第三节 制冷装置低噪声设计的声学基础	27
第四节 制冷装置低噪声设计的振动和测试基础	40
第二章 制冷装置仿真与优化设计的基本方法	53
第一节 压缩机模型	53
第二节 节流装置模型	60
第三节 冷凝器模型	72
第四节 蒸发器模型	80
第五节 围护结构动态热负荷模型	93
第六节 制冷剂热力性质的计算模型	112
第七节 充注量与空泡系数模型	121
第八节 系统模型与算法	126
第九节 基于仿真的优化设计方法	131
第三章 制冷空调装置仿真与优化设计的新方法	137
第一节 基于模型的制冷空调装置智能仿真	137
第二节 基于图论的制冷系统通用仿真算法	154
第三节 基于图论的通用翅片管换热器仿真模型	158
第四节 基于知识及遗传退火混合算法的翅片管换热器管路优化方法	165
第四章 制冷系统与部件热力性能仿真与优化软件实例	171
第一节 软件开发的一般流程	171
第二节 翅片管换热器仿真与优化设计软件	174
第三节 房间空调器仿真软件	180
第四节 家用冰箱仿真软件	184
第五节 热泵热水器仿真软件	189
第六节 冷水机组仿真软件	195
第五章 噪声的数字化测试技术	199
第一节 常用的噪声测量仪器	199
第二节 声压测量	210
第三节 声功率测量	213
第四节 噪声控制的基本途径和步骤	223
第五节 噪声源的诊断技术	227
第六节 制冷空调装置噪声测试实例	231
第六章 制冷空调装置气动噪声源预测与低噪声设计	236

第一节	制冷空调装置的气动噪声源特性·····	236
第二节	基于涡声理论的制冷空调装置气动噪声源辨识技术·····	241
第三节	制冷空调装置风机气动噪声预测方法·····	252
第四节	制冷空调装置的低噪声设计·····	279
第七章	空调装置振动分析的数字化技术·····	295
第一节	空调系统的数字化建模和振动分析·····	295
第二节	空调系统振动的数字化测量技术·····	308
第三节	空调系统的模态综合技术·····	315
第八章	空调装置的减振技术·····	325
第一节	减振技术概述·····	325
第二节	空调管路系统的减振分析与设计·····	326
第三节	振动主动控制·····	347
参考文献	·····	352

主要符号表

变量

a	热扩散率, m^2/s	div	散度
$a_1, a_2,$ $a_3, \dots$	制冷剂物性公式中的系数	D	直径, m ; 系数或系数矩阵
A	管横截面积, m^2 ; 换热面积, m^2 ; 面积, m^2 ; 系数或系数矩阵; 振幅, m ; 吸声量, m^2 ; 动力放大系数	e	偏心距, m ; 自然常数; 误差
b	系数或系数矩阵;	E	能量, J ; 欧氏空间; 函数;
B	系数或系数矩阵; 流体总焓, J/kg ; 叶片数	f	杨氏模量, Pa 摩擦系数; 系数; 频率, Hz ; 固有频率比;
B_e	谱线带宽, m		自由度
c	热容, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; 系数或系数矩阵; 声速, m/s ; 流速, m/s ; 径向基函数的中心	$f(x)$	函数
		F	系数矩阵; 带宽修正因子; 有效换热面积, m^2
C	叶片弦长, m ; 阻尼系数	F_L	叶片升力, N
C_L	升力系数	Fr	Froude 数
d	直径或其他空间距离变量, m ; 空气含湿量, kg/kg 干空气; 微分符号; 系数	$F(t)$	激振力, N
		g	频率比
		grad	梯度
		G	质量流率, $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; 质量流量, kg/s ; 系数矩阵;

	互谱函数		声功率, W;
h	焓值, J/kg;		随机数;
	高度, m		风机功率, W;
i, j, k, n	整型变量或系数		模态坐标
I	声强, W/m ²	Pr	普朗特数
k	绝热或多变指数;	q	换热量, J; 热流密度, W;
	折半因子;		形状因子
	波数, m ⁻¹ ;	Q	换热量, J;
	刚度, N/m		热流密度, W;
K	传热系数, W/(m ² · K);		体积流量, m ³ /s
	夹带系数	r	汽化潜热, J/kg;
l	长度或厚度, m		半径, m;
L	管长, m;		罚因子
	声压级, dB;	R	气体常数;
	声强级, dB;		热阻, (m ² · K)/W;
	声功率级, dB;		振幅, m;
	响度级, phon		隔声量, dB
m	支路数;	Re	雷诺数
	质量, kg;	s	熵, J/(kg · K);
	质量流率, kg/(m ² · s)		滑移比;
M	充注量, kg;		拉普拉斯算子;
	板的面密度, kg/m ²		翅片间距, m
Ma	马赫数	S	面积, m ² ;
n	频带数;		活塞行程, m;
	汇合分支的个数;		滑动比;
	转速, r/min		输气系数
N	功率, W;	t	温度, °C;
	响度, sone;		时间, s
	换热器的总换热管数	T	温度, K;
Nu	努谢尔特数		周期, s;
O	输出		时间间隔, s;
P	压力, Pa;		莱特希尔张量
	声压, Pa;	u	输入变量;

	流速, m/s ;	β	损耗因子
	振动速度, m/s	γ	空泡系数;
U	内能, J ;		剪应变
	输入变量;	ξ	漏热系数;
	神经元内部状态;		析湿系数;
	换热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$		质点位移, m ;
v	比容, m^3/kg ;		阻尼因子;
	振动速度, m/s		阻尼比
V	压缩机输气量, m^3/s ;	π	圆周率
	体积、容积, m^3 ;	ρ	密度, kg/m^3
	输出	δ	波长, m ;
w	反应系数;		标准误差;
	连接权值;		克罗内柯函数
	相对速度, m/s	ϵ	压缩比;
W	声功率, W ;		粗糙度, m ;
	相对速度, m/s ;		迭代误差限;
	质量, kg		声能密度, J/m^3 ;
We	Weber 数		空泡系数;
x	输入量;		应变
	阀杆升程, m ;	η	压缩机电效率;
	位移, m ;		换热器翅片效率;
	制冷剂干度;		风机效率
	函数变量	θ	过热度, $^{\circ}\text{C}$;
X	位移, m ;		阀芯锥度角;
	振幅, m		阈值
y	函数或函数变量	λ	导热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
Y	输出变量	μ	动力黏度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$;
z	z 算子;		放大系数
	叶片数目	ν	运动黏度, m^2/s
Z	Z 变换	σ	表面张力, N/m ;
α	换热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;		对神经元的总作用;
	神经网络的学习率;		应力, N/m^2
	相位角, rad	τ	时间, s ;

	周期, s;	ω	圆频率或角频率, rad/s;
	剪应力, N/m ²		流动涡矢量
φ	初相位, rad;	Δ	增量, 变化量
	相位差, rad	ΔE	声能量, J
ψ	无量纲压升;	Π	无量纲变量
	附着模态	ϕ	无量纲流量
上标			
—	平均值	(0)	上一时刻;
.	一阶导数	'	导数;
..	二阶导数		饱和液体
"	饱和气体		
下标			
a, air	空气	e	有效值
ac	加速	e, eva	蒸发器
acm	集液器	ef	有效值
ado	出风干球温度	es	蒸发器与吸气管
aidc	空气入口干球温度	exp	实验值
awo	出风湿球温度	f	液体;
back	背压;		摩擦
	后排控制容积	fg	热力性质的饱和气体值与饱和液体值的差值
bottom	下一列控制容积	front	前排控制容积
c, con	冷凝器	g	饱和气体
cal	计算值	gas	气相
cap	毛细管	i, in	进口;
cf	饱和液体制冷剂壅塞流		内侧
cg	饱和气体制冷剂壅塞流	l	液体
ch	两相制冷剂壅塞流	liq	液相
CLN	压缩机气缸	m	平均值;
com	压缩机		机械效率
crit	临界值	mo	压缩机电机
d	排气	N	理论模型计算值
dew	露点	o, out	出口;
dry	干工况		

	外侧	SH	过热
opt	最优	suc	吸气或吸气管
os	外侧显热交换	th	理论计算值
p	定压	thr	节流(膨胀)装置
pf	定压下的液体性质	top	上一列控制容积
pool	池状沸腾	total	总量
Q	换热	tongue	蜗舌
r, ref	制冷剂	blade	叶片
reghig	回热器高温段	TP	两相
reglow	回热器低温段	tub	换热管
s	吸气;	u	单位阶跃扰量
	等熵;	v	气体;
	饱和状态		饱和气体
sat	饱和状态	w	管壁
SC	过冷	wall	管壁

第一章 制冷空调数字化设计基础

本章的内容是与后面章节相关的基础知识。读者可以按照自己所具备的知识来选读。其中第一节是对于制冷空调装置不熟悉的读者准备的，第二节是第二、三、四章的基础，第三节是第五、六章的基础，第四节是第七、八章的基础。读者在学习本章时可以参考文献[1~19]。

第一节 制冷原理与装置概述

一、蒸气压缩式制冷原理

在普通制冷温度范围内，蒸气压缩式制冷是占主导地位的制冷方式，它属于液体蒸发制冷。液体蒸发制冷的特征是：利用制冷剂液体在气化时(蒸发时)产生的吸热效应，达到制冷的目的。液体蒸发制冷构成循环的四个基本过程是：①制冷剂液体在低压(低温)下蒸发，成为低压蒸气；②将该低压蒸气提高压力成为高压蒸气；③将高压蒸气冷凝，使之成为高压液体；④高压液体降低压力重新变为低压液体，返回到①从而完成循环。

上述四个过程中，①是制冷剂从低温热源吸收热量的过程；②是制冷剂向高温热源排放热量的过程；③是循环的能量补偿过程。能量补偿的方式有多种，所使用的能量补偿形式也有所不同。如果该过程的能量补偿方式是用压缩机对低压气体做功，使之因受压缩而提高压力，那么，这种制冷方式便称之为蒸气压缩式制冷。

1. 制冷剂

制冷剂是制冷机中的工作介质，它在制冷机系统中循环流动，通过自身热力状态的变化与外界发生能量交换，从而实现制冷的目的。蒸气制冷机中的制冷剂在低温下气化，从低温热源中吸取热量，再在高温下凝结，向高温热源排放热量。所以，只有在工作温度范围内能够气化和凝结的物质才有可能作为制冷剂使用。多数制冷剂在大气压力和环境温度下呈气态。

作为制冷剂应该尽量符合如下要求：1)热力学性质方面，希望在工作温度范围内有合适的压力和压力比，包括蒸发压力不低于大气压力，冷凝压力不要过高，冷凝压力与蒸发压力之比也不宜过大；单位制冷量和单位容积制冷量比较大；比功和单位容积压缩功小，循环效率高；等熵压缩的终了温度不太高。2)迁移性质方面，希望黏度、比重尽量小；导热系数大。3)物理化学性质方面，希望无毒、不燃烧、不爆炸、使用安全；化学稳定性和热稳定性好；大气环境友好，即不破坏臭氧层，也没有温室效应。

当然，完全满足上述要求的制冷剂是不存在的。各种制冷剂总是在某些方面有其长处，另一些方面又有不足。使用要求、机器容量和使用条件不同，对制冷剂性质要求的侧重点就不同，应按主要要求选择相应的制冷剂。制冷剂一旦选定，由于它本身性质上的特点，又反过来要求制冷系统在流程安排、结构设计及运行操作等方面与之相适应。这些都

必须在充分掌握制冷剂性质的基础上恰当地加以处理。

制冷剂对于臭氧层消耗能力通常使用 ODP 值(Ozone Depletion Potential)表示,其温室效应潜能则用 GWP 值(Global Warming Potential)表示。

在冰箱中,过去普遍采用 $R12$ 作为制冷剂,但是由于 $R12$ 的 ODP 值很高,因此基本上已不再用。它的替代物之一是 $R134a$,虽然其 ODP 值已经是 0,但仍有较高的 GWP 值。 $R600a$ (异丁烷)也被广泛用于冰箱,该制冷剂不仅 ODP 为 0,还由于这是一种非人工合成的自然制冷剂,因此不会影响自然界中该物质的总量,从而使 GWP 为 0。

在空调中仍然较多地使用 $R22$,该制冷剂的 ODP 较低,但对于臭氧层仍有一定破坏作用,在发达国家中已被禁用,发展中国家允许用到 2040 年,但现在有提前禁用的趋势。目前在空调中用于代替 $R22$ 的主要有 $R407C$ 和 $R410A$,前者压力与 $R22$ 接近,可以直接用于替代 $R22$,而后的压力要比 $R22$ 高 50%左右,因此采用该工质代替 $R22$ 时需要重新设计系统。

氨具有较好的热力学性质和热物理性质,可用于蒸发温度在 -65°C 以上的大型或中型单级、双级活塞式制冷机中,也可应用于大容量离心式制冷机中。

二氧化碳(CO_2)曾作为主要的制冷剂使用了半个世纪,现在又重新起用。 CO_2 临界温度低(仅 31°C),对大多数应用装置将出现超临界排热的情况。 CO_2 在制冷空调中使用,需要开发相应的 CO_2 压缩机,因为高压侧压力特别高(约 10MPa),压缩机需重新设计,还要考虑润滑问题。现在有关 CO_2 方面的研究正在世界范围积极开展着。

2. 单级蒸气压缩式制冷循环

制冷循环就是通过一定的能量补偿,从低温热源吸热,向高温热源排热。热源的温度决定制冷剂吸热与排热的温度与压力,相应地决定了制冷循环中的高低压侧的压力比。当高、低温热源的温度差不太大时,压力比也不太大,可采用单级压缩制冷循环;如果热源温差大到使压力比超过压缩机单级压缩允许的极限值,则采用压缩过程分级进行的多级压缩制冷循环,或者采用分段制冷的复叠式压缩制冷循环(视热源温差大的程度而定)。

单级蒸气压缩制冷的典型循环描述如下:

(1) 朗肯循环

朗肯循环是空调、制冷、食品冷藏温度范围大量使用的循环,可分基本朗肯循环与有回热的朗肯循环,其系统和循环原理分别如图 1-1 和图 1-2 所示。

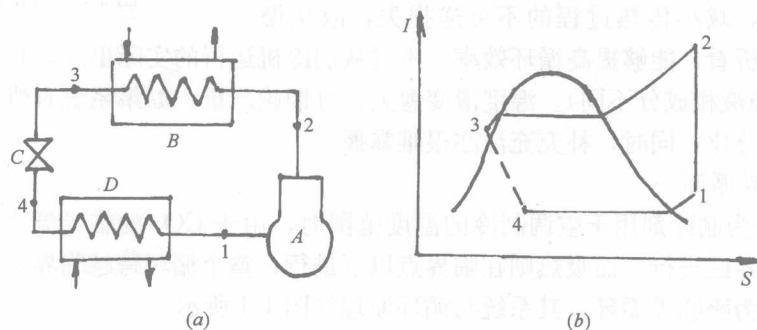


图 1-1 基本朗肯循环

(a) 系统图: A—压缩机; B—冷凝器; C—节流装置; D—蒸发器

(b) 循环 T-S 图

1—2 压缩过程; 2—3 冷却冷凝过程; 3—4 节流过程; 4—1 蒸发吸热过程