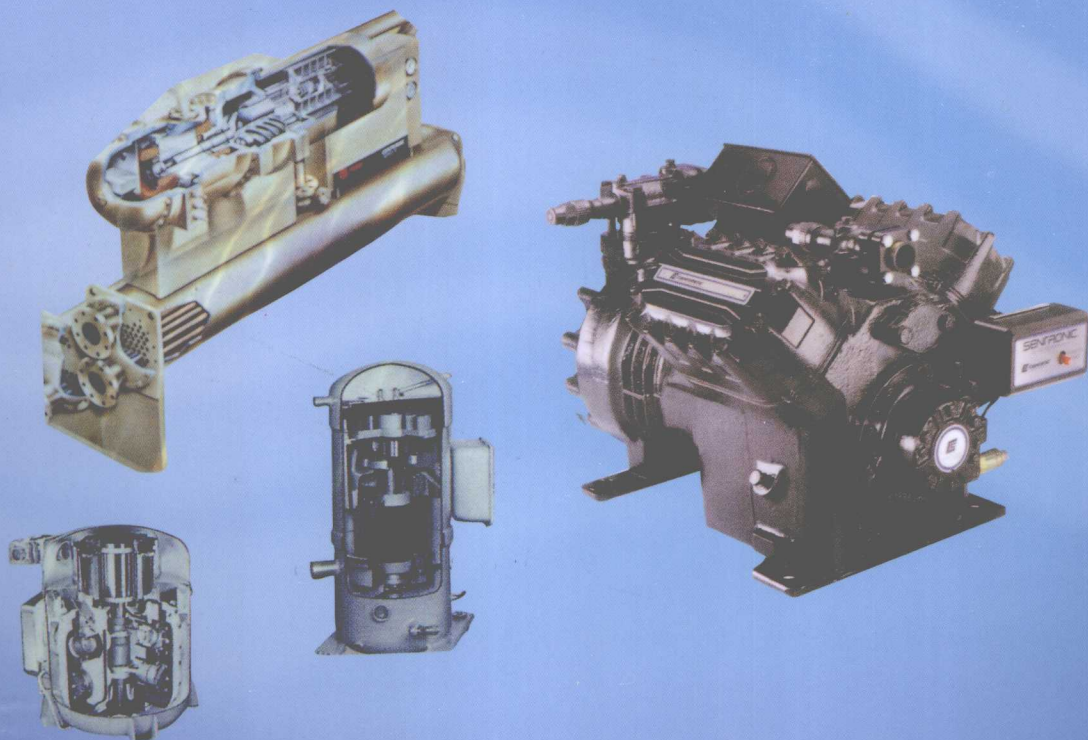


上海市职业能力考试院工程师考试推荐用书

制冷技术及工程应用

Refrigeration Technology and Engineering Applications

卢士勋 杨万枫 编著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

上海市职业能力考试院工程师考试推荐用书

制冷技术及工程应用

Refrigeration Technology and Engineering Applications

卢士勋 编著
杨万枫

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书系统地阐述了制冷技术的理论基础和工程应用,充分反映了本学科国内外的最新科技成就和进展。书中 400 余幅插图形象地说明了制冷机的工作原理、结构和系统流程;计算公式简明实用;表格提供了技术数据和说明。为了方便读者了解专业英语词组,书中有许多中英名词和术语对照。全书 14 章,分别为:1. 热力学基础知识;2. 蒸气压缩式制冷原理;3. 吸收式制冷机;4. 气体制冷机和半导体制冷机;5. 制冷剂、载冷剂和蓄冷剂;6. 制冷压缩机;7. 传热学知识和换热器;8. 制冷辅助设备和管道;9. 冷库及食品冷藏工艺;10. 食品冷藏链及设备;11. 商业制冷技术与应用;12. 人工滑冰场和滑雪场制冷技术;13. 制冷装置的自动控制;14. 制冷装置安装、调试和维修。本书与《空气调节技术及工程应用》、《热工学理论基础》两书构成制冷与空调的专业知识体系,可作为高校专业教材和制冷、空调工程师、技师考试用书,以及高校相关专业研究生教学参考书,同时也可作为制冷与空调行业设计、生产和管理技术人员的工作参考书。

图书在版编目(CIP)数据

制冷技术及工程应用/卢士勋,杨万枫编著. —上海:上海交通大学出版社,2010
上海市职业能力考试院工程师考试推荐用书
ISBN 978-7-313-05357-2

I. 制… II. ①卢…②杨… III. 制冷技术—工程技术—资格考核—自学参考资料 IV. TB66

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 000557 号

制冷技术及工程应用

卢士勋 杨万枫 编著

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:韩建民

常熟市梅李印刷有限公司 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:32.5 字数:803 千字

2010 年 3 月第 1 版 2010 年 3 月第 1 次印刷

印数:1~2 030

ISBN 978-7-313-05357-2/TB 定价:68.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

制冷空调技术已广泛用于工业、农业、商业、医药、国防及建筑等领域。制冷空调技术发展和应用在各行业的生产过程,尖端科学研究及改善人们生活居住环境、食品贮藏保鲜等方面起到越来越重要的作用,同时也促进了科学技术的进步和社会的发展。制冷与空调技术的发展和应用,与国计民生密切相关,甚至必不可少。

十多年前,作者以上海制冷学会的名义,编写了《制冷与空气调节技术》一书,出版后受到制冷空调技术界同仁的肯定,1993年被上海全国书展推荐为优秀图书之一,后又获得国家科技进步奖,并被高等院校和专业技术进修培训班选作教材和参考图书。自1992年至2007年,本书再版6次,以满足广大读者的需求。近15年来,制冷空调技术在我国得到了更迅速的发展和广泛的应用,为适应制冷空调技术发展和应用的新形势,在上海交通大学出版社徐德胜教授的推荐和支持下,决定在原《制冷与空气调节技术》一书的基础上,删去了部分内容,增加了现代制冷和空调技术进展的新内容,改编成《制冷技术及工程应用》与《空气调节技术及工程应用》两书。

《制冷技术及工程应用》在内容上充分反映了本学科国内外最新技术成就和进展。延续了原《制冷与空气调节技术》一书的内容表述方式及图示风格。书中除全部采用“SI”制计量单位和我国的法定物理量名称、符号和单位外,对制冷空调技术中主要专业术语加注了英语表述。

书中选用了较实用的计算公式和相应的参数图表,更注意制冷理论与工程实践的结合。全书在章节安排上,力求循序渐进,层次分明,系统全面。在文字阐述上注意简练通俗,方便阅读。

本书系统地论述了制冷的理论基础和在工程上的最新应用。全书共14章,内容包括:制冷热力学、流体力学和传热学基础;制冷循环原理及系统;制冷剂、载冷剂、蓄冷剂及冷冻机油;制冷装置及设备;冷库技术及应用;食品冷冻、冷藏与保鲜贮藏工艺;商业制冷和食品冷藏链技术;人工滑冰场与滑雪场制冷技术;制冷系统自动控制和制冷装置的安装、调试与运行操作技术等。

本书的编写得到了上海交通大学、同济大学、上海海洋大学、上海理工大学和上海海事大学的范存养、岳孝方、吴喜平、陈芝久、缪道平、蒋能照、戴自振、顾安忠、陆震、徐世琼、陈邓曼、谢晶、孙文哲以及上海电力、民用及商业设计研究院周祖毅、陈怀琴、顾建中、邱嘉昌和上海704研究所戴永庆、周伟等一批专家教授的支持。上海锦江(国际)集团与锦江大酒店有限公司总经理俞昌明、工程部总监王中芳及酒店管理公司总经理杨忠平高级工程师亦给予了极大的帮助,并提供了最新技术资料。本书由上海通用机械研究所原总工董天禄教授级高工及上海704研究所耿惠彬研究员主审,大金(中国)投资有限公司李兴福副译审对全书的中英文专业术语作了审校。另外,上海冷气机厂吴天佑及大连冰山集团公司李郁工程师以及美国约克上海冷机空调设备公司殷广文工程师为本书编写提供了珍贵的产品样本和技术资料,上海海

事大学教师李品友、郑学林、曹红奋、孙永明以及王根德、范敏强、虞家严、鲁海涵、陈斐然、邱林等在此书编写过程亦给予很多帮助。值此书即将付梓之际,谨向以上各位专家、教授和同仁们致以诚挚的敬意和衷心的感谢。

书中若有谬误之处,恳请阅者指正。

编著者 卢士勋 杨万枫

2009年3月于上海海事大学

主要物理量的符号、名称和单位

A	传热面、面积(transfer surface and area)	m^2
C	热容(heat capacity)	J/K
C_m	摩尔热容(molar heat capacity)	J/(mol · K)
c	比热容(specific heat capacity)	J/(kg · K)
	质量热容(massic heat capacity)	
c_v	比定容热容(specific heat capacity at constant volume)	J/(kg · K)
	质量定容热容(mass heat capacity at constant volume)	J/(m ³ · K)
c_p	比定压热容、质量热容(specific heat capacity at constant pressure and mass heat capacity) 比热容(specific heat capacity)	J/(kg · K)
c_B	B 的浓度(concentration of B) $c_B = n_B/v$	mol/m ³
d	含湿量(humidity ratio)	kg/kg(干空气)
E	能[量](energy)	J
E_p	势能、位能(potential energy)	J
$E_k(T)$	动能(kinetic energy)	J
e	比能、质量能(specific energy and mass energy)	J/kg
F	力(force)	N
G	热导(thermal conductance)	W/K
H	焓(enthalpy)	J
h	比焓、质量焓(specific enthalpy, mass enthalpy)	J/kg
K	传热系数(coefficient of heat transfer)	W/(m ² · K)
L_w	声功率级(sound power level)	dB
L_p	声压级(sound pressure level)	dB
L_I	声强级(sound intensity level)	dB
M	摩尔质量(molar mass)	kg/mol
m	质量(mass)	kg
P	功率(power)、有功功率(active power)	W
P_e	轴功率、指示功率(shaft power and indicated power)	W
p	压力、绝对压力、静压(pressure, absolute pressure and static pressure)	Pa
p_a	大气压力(atmospheric pressure; barometric pressure)	Pa
p_v	真空度(vacuum)	Pa
p_b	饱和压力(saturation pressure)	Pa
p_g	表压力(gauge pressure)	Pa
p_c	冷凝压力(condensing pressure)	Pa
p_e	蒸发压力(evaporating pressure)	Pa
p_m	中间压力(intermediate pressure)	Pa
p_s	湿空气中水蒸气分压力(partial pressure of water vapor in wet air)	Pa
p_{sb}	水蒸气饱和压力(saturation pressure of water vapor)	Pa
Δp	阻力、压力差(resistance and differential pressure)	Pa

Δp_a	空气压差(differential pressure of air)	Pa
Δp_w	水压差(differential pressure of water)	Pa
Q	热量(quantity of heat)	J
q	热流[量]密度、面积热流量(density of heat flow rate and areal heat flow rate)	W/m ²
q_m	质量流量(mass flow rate)	kg/s
q_v	体积流量(volume flow rate; volume velocity)	m ³ /s
$q_{v,th}$	压缩机理论输气量(theoretical displacement of compressor)	m ³ /h
$q_{m,w}$	水质量流量(mass flow of water)	kg/h
$q_{m,s}$	空气质量流量(mass flow of air)	kg/h
q_e	单位质量制冷量(refrigerating capacity per unit weight)	kJ/kg
q_c	单位冷凝热(condensation heat per unit)	kJ/kg
q_L	管壁导热量(heat transfer through tube)	W/m
R, R_f	热阻(thermal resistance), 流阻(flow resistance)	K/W
R_A	面积热阻(areal resistance of heat transfer)	m ² · K/W
R_g	气体常数(gas constant)	J/(kg · K)
r	气化潜热(gasified latent heat)	kJ/kg
S	熵(entropy)	J/K
s	比熵、质量熵(specific entropy and massic entropy)	J/(kg · K)
T	热力学温度(thermodynamic temperature)	K
	周期(period, cycle)	s
t	摄氏温度(celsius temperature)(摄氏度 degree celsius)	°C
t_w	室外温(湿)度(outdoor temperature, humidity)	°C
t_n	室内温(湿)度(indoor temperature, humidity)	°C
t_b	饱和温度(saturation temperature)	°C
t_g	湿空气的干球温度(dry bulb temperature of moist air)	°C
t_s, t_w	湿空气的湿球温度(wet bulb temperature of moist air)	°C
t_l	空气露点温度(dew point temperature)	°C
U	热力学能(thermodynamic energy)	J
u	质量热力学能(mass thermodynamic energy)、 比热力学能(specific thermodynamic energy)	J/Kg
V	体积(volume)	m ³ 或 L
v	比体积、质量体积(specific volume and mass volume)	m ³ /kg
$W(A)$	功(work)	J
$w_B(\xi)$	组分 B 的质量分数(mass fraction of B)	%
x	干度(quality)	%
α	热扩散率(thermal diffusivity)	m ² /s
ah	表面传热系数(surface coefficient of heat transfer)	W/(m ² · K)
α_p	相对压力系数(relative pressure coefficient)	K ⁻¹
α_v	体[膨]胀系数(cubic expansion coefficient)	K ⁻¹
β	压力系数(pressure coefficient)	Pa/K
ϵ	制冷系数, 压缩比, 热湿比 (coefficient of performance, compression ratio and heat moisture ratio)	

ϵ_c	卡诺制冷系数(carnot refrigeration coefficient)	
ϵ_h	供热系数(coefficient of supplied heat)	
ϵ_{th}	理论制冷系数(theoretical cop)	
ξ	热力系数(heat ratio)	
η	效率(热效率)(efficiency—efficiency of heat utilization)	
k	等熵指数(isentropic exponent)	
λ	热导率(导热系数)(thermal conductivity)	$W/(m \cdot K)$
		m
μ	[动力]粘度(viscosity; dynamic viscosity)	$Pa \cdot s$;
ν	运动粘度(kinematic viscosity)	m^2/s
ρ	[质量]密度, 体积质量([mass]density and volumic mass)	kg/m^3
ρ_B	B 的质量浓度(mass concentration of B) $\rho_B = m_B/v$	kg/m^3 或 kg/L
σ, r	表面张力(surface tension)、潜热(latent heat)	N/m
	传质系数(mass transfer coefficient)	
Φ	热流量(heat flow rate)	W
φ	相对湿度(relative humidity)	%
φ_B	B 的体积分数(volume fraction of B)	%

下角标

1, i 进口	o 标准的
2, o 出口	p 定压的
a 环境, 空气	s 湿的, 送风的
b 饱和状态的, 壁面的	th 理论的
c 冷凝的, 临界的	v 定容的
e 蒸发, 轴的	w 外面的、水的
g 气体	n 内的
h 热的	L、b、h 长度、宽度、高度
L 露点的	δ 厚度
m 平均	

目 录

绪论	1
Introduction	
第 1 章 制冷工程热力学基础	4
Chapter 1 Fundamentals of Refrigeration Engineering Thermodynamics	
1.1 工质及热力学参数	4
Working Substance and Thermodynamic Parameters	
1.2 工质热力过程及气体状态方程式	9
Thermodynamic Process of Working Substance and Equation of Gas State	
1.3 热力学基本定律及在制冷工程中的应用	13
Basic Thermodynamic Laws and their applications in Refrigeration Engineering	
1.4 工质状态参数焓、熵及稳定流动方程	15
Working Substance State Parameters, Enthalpy, Entropy and Stabilized Flow Equation	
1.5 工质的相变及热力过程的表示	18
The Phase Change of Working Substance and Expression of Thermodynamic Process	
1.6 流体力学基础	22
Fundamentals of Fluid Mechanics	
第 2 章 蒸气压缩式制冷原理	35
Chapter 2 Fundamentals of Vapor Compression Refrigeration	
2.1 蒸气压缩式制冷的热力循环	35
Thermodynamic Cycle of Vapor Compression Refrigeration	
2.2 蒸气压缩式制冷循环的热力计算	43
Thermodynamic Calculation for Vapor Compression Refrigeration Cycle	
2.3 制冷机的工作特性及运行工况	51
Working Charactoristics and Running Conditions of Refrigerating Machines	
2.4 两级压缩式和复叠式制冷循环	53
Double Stage Compression and Cascade Refrigeration Cycles	
第 3 章 吸收式制冷机	59
Chapter 3 Absorption Refrigerating Machines	
3.1 吸收式制冷机的工作原理	59

Working Principle of Absorption Refrigerating Machines	
3.2 吸收式制冷机的热力循环及特点	60
Thermodynamic Cycle and Characteristics of Absorption Refrigerating Machines	
3.3 吸收式制冷机的工质对	61
Working pairs of Absorption Refrigerating Machines	
3.4 溴化锂吸收式制冷机	63
Lithium Bromide Absorption Refrigerating Machines	
第4章 气体制冷机与半导体制冷机	73
Chapter 4 Gas Refrigerating Machines and Semiconductor Refrigerators	
4.1 气体制冷机	73
Gas Refrigerating Machines	
4.2 半导体制冷机	74
Semiconductor Refrigerators	
第5章 制冷剂、载冷剂、蓄冷(能)剂及冷冻机油	77
Chapter 5 Refrigerant, Secondary Refrigerant, Cold (Energy) Accumulating Agent and Refrigeration Oil	
5.1 制冷剂的性质	77
Characters of Refrigerants	
5.2 载冷剂的性质	88
Characters of Secondary Refrigerants	
5.3 蓄冷(热)剂的性质	93
Characters of Agents for Cold (Heat) Accumulation	
5.4 冷冻机油及性质	94
Characters of Refrigeration Oil	
第6章 制冷压缩机	98
Chapter 6 Refrigerant Compressors	
6.1 制冷压缩机的类型及工作原理	98
Types and Working Principle of Refrigerant Compressors	
6.2 容积式压缩机的工作原理	100
Working Principle of Positive-Displacement Compressors	
6.3 制冷压缩机的基本性能参数	104
Basic Performance Parameters of Refrigerant Compressors	
6.4 活塞式制冷压缩机的运行工况及使用条件	106
Operation and Service Conditions of Piston Type Refrigerant Compressors	
6.5 活塞式制冷压缩机的结构	108

Construction of Piston Type Refrigerant Compressors	
6.6 活塞式制冷压缩机的零部件结构	118
Construction of Details and Parts of Piston Type Refrigerant Compressors	
6.7 活塞式制冷压缩机的润滑	123
Lubrication of Piston Type Refrigerant Compressors	
6.8 制冷压缩机的卸载与能量调节	128
Unloading and Energy Adjustment of Refrigerant Compressors	
6.9 回转式制冷压缩机——螺杆式、滚动转子式、滑片式、斜板式和涡旋式	133
Rotary Refrigerant Compressors of Screw, Rolling Rotor, Sliding Vane, Swash-plate and Scroll Types	
6.10 离心式制冷压缩机	155
Centrifugal Refrigerant Compressors	
第7章 传热学基础及制冷换热器	162
Chapter 7 Fundamentals of Heat Transfer and Refrigerating Heat Exchangers	
7.1 传热原理及传热过程	162
Principle and Process of Heat Transfer	
7.2 制冷换热器及基本传热计算	169
Refrigeration Heat Exchangers and Basic Heat Transfer Calculation	
7.3 蒸发器及基本传热计算	180
Evaporator and Basic Heat Transfer Calculation	
7.4 制冷装置用冷却塔	191
Cooling Tower for Refrigerating Plant	
第8章 制冷装置的辅助设备与管路	195
Chapter 8 Accessories and Piping for Refrigerating Plant	
8.1 制冷装置中的辅助设备	195
Accessories for Refrigerating Plant	
8.2 制冷管路	206
Refrigeration Pipe Line	
第9章 冷库制冷系统及食品冷藏工艺	214
Chapter 9 Cold Storage Refrigeration System and Food Refrigerated Preservation Technology	
9.1 冷库的基本类型及组成	214
Basic Types and Construction of Cold Store	
9.2 冷库的建筑结构	217
Building Construction of Cold Store	

9.3	冷库的隔热计算及其隔热防潮材料	227
	Calculation for Cold Insulation of Cold Store and Both Insulation and Moisture Barrier Materials	
9.4	冷库容量的确定和热负荷计算	235
	Determination for Capacity of Cold Store and Calculation for Heat Loads	
9.5	冷库库房和机房制冷设备的选择计算	243
	Calculation and Selection of Equipment for Cold Store Room and Machine Room	
9.6	冷库的制冷系统	254
	Refrigeration System for Cold Store	
9.7	食品冷藏技术及应用	272
	Technology and Application of Food Cold Storage	
9.8	食品气调贮藏技术及应用	293
	Technology and Application of Food Storage in Controlled Atmosphere	
第 10 章	冷藏运输	297
Chapter 10	Refrigerated Transport	
10.1	铁路冷藏车	298
	Refrigerated Trains	
10.2	公路冷藏汽车	307
	Refrigerated Trucks	
10.3	冷藏船及冷藏舱	313
	Refrigerated Ships and Refrigerated Hold	
10.4	冷藏集装箱	320
	Refrigerated Containers	
第 11 章	商业制冷技术及应用	330
Chapter 11	Commercial Refrigeration Technology and Applications	
11.1	商业冷藏柜、陈列柜及冷饮设备	330
	Refrigerators, Show Cases and Cold Drink Equipment	
11.2	家用电冰箱	349
	Home Refrigerators	
11.3	制冷技术在工业中的应用——特殊制冷装置	361
	Applications of Refrigeration Technology in Industries ——Special Refrigerating Plant	
第 12 章	人工滑冰场与滑雪场制冷技术	372
Chapter 12	Refrigeration Technology for Artificial Ice Skating and Skiing Parks	

12.1	人工滑冰场制冷技术	372
	Refrigeration Technology for Artificial Ice Skating Park	
12.2	人工滑雪场制冷技术	388
	Refrigeration Technology for Artificial Skiing Park	
第 13 章 制冷装置的自动控制		395
Chapter 13 Automatic Control of Refrigeration Plant		
13.1	自动控制原理及方法	396
	Principles and Method of Automatic Control	
13.2	主要控制器件和阀件	427
	Main Types of Controls and Valves	
13.3	制冷装置中的典型控制系统	433
	Typical Control Systems for Refrigeration Plant	
13.4	制冷系统中的安全压力控制	438
	Safety Pressure Control for Refrigeration System	
13.5	制冷系统中的阀件	445
	Valve for Refrigeration System	
第 14 章 制冷装置的安装、操作和维修		449
Chapter 14 Installation, Operation and Maintenance of Refrigeration Plant		
14.1	制冷装置的安装、调试与工程验收	449
	Installation, Commissioning and Engineering Acceptance of Refrigeration Plant	
14.2	制冷装置的运行操作与维修	460
	Operation and Maintenance of Refrigeration Plant	
附录 1 制冷剂的压焓图		488
Appendix I Pressure Enthalpy Chart of Refrigerant		
附录 2 常用物理量单位及换算		500
Appendix II Common Physical Quantity Units and Their Conversions		
附录 3 四库温冷库制冷系统		502
Appendix III Refrigerating System Chart for the Cold Store With Four Storage Temperatures		
参考文献		503
Bibliography		

绪 论

Introduction

制冷与空调调节技术已成为我国科学技术发展中的重要学科。近年来,制冷与空气调节技术在国民经济各个领域和人民生活的各个方面得到了广泛应用。诸如,大中型冷库,各式民用和公共建筑的空气调节,商业及家用电冰箱,商业冷藏柜等。为了适应这一专门技术的发展和运用,新近建立了不少制冷与空气调节技术研究机构。不少高等院校增设和加强了制冷与空调技术的专业。与此同时从事制冷与空气调节技术研究、设计、生产和运行管理的专业队伍也在不断扩大。

“制冷”就是采用一定的方法,在一定时间内,使某一物体或空间达到比周围环境介质更低的温度,并维持在给定的温度范围内。这里所谓环境介质,就是大自然中的空气和水。为了使某一物体或空间达到或维持一定的低温,必须采用一定的方法,连续不断地取出物体或空间内的热量,并把这一热量输送到外界环境中去。这样的热量“转移”过程就是“制冷过程”,简称“制冷”。

根据制冷技术的发展,制冷的手段有两种:一种是利用自然界的天然冷源制冷;另一种是“人工制冷”。目前“人工制冷”正在迅速发展和被广泛应用。

天然冷源有冬天贮藏的天然冰或深井水。利用天然冰的融解热和比地面温度更低的深井水吸热,可使物体或空间降温,以实现“制冷”。天然冰具有贮藏量大、价廉的优点,是古代世界各国最早采用的冷源。中国早在《诗经·幽风》中就曾“二日凿冰冲冲,三日纳于凌阴”的记载,而在《大暑赋》中也记载了“积素冰于幽馆,气飞结而为霜”的诗句。这些都记述了我们祖先用冰来冷藏食品和防暑降温的例子,说明我国利用天然冷源实现制冷的悠久历史。由于利用天然冷源受到地区、季节和贮冰条件的限制,而且天然冷源使用又受到制冷温度范围的限制,难以满足大制冷量的要求,所以随着人工制冷技术的发展和进步,天然冷源制冷逐渐为人工制冷所代替。

现今,人工制冷可以实现比天然冷源制冷更低的温度,并且有宽广的温度调节范围。为了使用方便,国际上对人工制冷所能实现的低温作了温区划分:把温度高于 $120\text{K}(-153^{\circ}\text{C})$ 的温区称为冷冻温区,这一温区广泛用于冷藏食品和空气调节等,主要的制冷方法是利用制冷工质相变原理;温度低于 120K 的温区称低温区,多用于工业气体分离和气体液化,主要制冷方法是等温节流效应和膨胀制冷;温度低于 0.3K 的温区称为超低温,一般用于基础理论研究和某些特殊试验,主要制冷方法是磁制冷、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 稀释制冷、 ^3He 减压蒸发制冷及 ^3He 压缩机变制冷等。制冷与空气调节技术中主要涉及高于 120K 的冷冻温区,例如多数食品冻结、贮藏温度 $-18^{\circ}\text{C}\sim-25^{\circ}\text{C}$,空气调节冷源温度为 $0\sim10^{\circ}\text{C}$ 等。

制冷技术中,实现低温的主要理论基础是工程热力学、传热学和流体力学。利用工程热力学研究能量及其相互转换规律,如研究热能与其他能量特别是与机械能的转换规律。现在,采用人工制冷获得低温的主要方法,是在机械能的作用下,通过制冷装置中的工质(制冷剂)从低温热源吸取热量,连同机械能转化的热量,一起送往高温热源——环境介质。制冷技术中,利

用传热学研究制冷过程热量的传递和转移。利用流体力学研究制冷循环过程各种流体(水、空气、制冷剂、载冷剂等)流动过程中的阻力和流型。实际上,制冷过程中通过制冷工质的热力循环,是在连续循环流动过程中工质产生相变,实现热量的传递和转移的。它根据热力学第一、第二定律,并运用能量守恒方程进行热量传递和转移计算。在研究空气调节技术时,还要利用湿空气热力学,分析空气的各种处理过程,研究各过程中空气热量、温度和湿度的变化。另外,它亦像研究制冷循环一样,利用流体力学研究空气的各种流动。由此可见,工程热力学、传热学、流体力学、湿空气热力学对制冷与空气调节技术至关重要,它们是研究制冷与空气调节的理论基础。

制冷技术论述的主要内容是:制冷循环原理及热力过程,实现制冷过程的主要设备、管系、阀门及自动控制器件。此外,还要研究制冷的自动调节与控制,以保证制冷装置的自动调节与安全运行,实现制冷过程的制冷量及温度要求。制冷系统的自动调节对提高制冷效率,保证食品冷藏贮存,实现理想的制冷效果均具有重要意义。

制冷技术的重要应用部门之一是食品工业。制冷在食品贮藏保鲜中起着决定作用。制冷机的发明和应用,促进了食品工业的发展,也促进了食品资源的开发和利用。大中型食品冷库、冷藏船、冷藏列车及冷藏汽车的应用,大大促进了各国内部和国际间的食品贸易和交流。制冷技术的广泛应用已普及到食品工业各个部门和所有销售环节,即形成了所谓“冷链”。由于食品采用了一定的低温贮存加工,才能有效地延长食品贮藏时间,并保持食品原先特有的色、香、味及营养成分。

制冷技术的发展与应用也促进了海洋渔业资源的开发和利用。专业冷藏船和设有制冷装置及蓄冷设备的捕捞船,可以长期在海上进行捕捞作业,并将捕获物在海上加工贮藏或直接外运外销。国际上远洋捕捞加工船队的出现,其重要条件之一是制冷技术的应用。

食品的生产、加工、冻结、贮藏和分配等环节广泛采用制冷技术,适时向市场提供冷藏或冷冻食品,有效地调节了市场的供给,提高了食品的经济效益。各种商业冷藏柜、食品冷藏陈列柜的出现,大大地促进了冷饮食品的发展和销售。家用电冰箱的普及,有效地调节和丰富了人们的生活。冷冻干燥技术应用于某些生物制品和粮食制品加工过程中,大大提高了生产效率,保证了生产质量。制冷技术应用于酿造工业,有效地控制发酵反应过程并实现了低温加工、包装及贮藏。

制冷在石油化工工业的生产过程中,也起着重要作用。天然气和石油气液化以及气体分离等过程都离不开制冷技术。制冷技术应用于土壤冻结,为采矿及隧道工程挖掘提供了安全保证和良好的经济的效益。

制冷技术的应用,促进了医疗卫生和医药制品的生产和发展。低温医疗有效地提高了对某些疾病的医疗效果。低温为生物器官的保存、移植提供了保证。低温技术的应用更促进了低温生物学和生物工程的发展。

制冷技术广泛应用于空气调节,有效地完善了各种工业生产中的工艺过程,丰富了人民生活、旅游和文娱活动。制冷及空调技术的迅速发展和广泛应用,使能源消耗愈来愈大,因此,制冷、空气调节的节能,余热利用与回收,开展“二次能源”的研究,开发太阳能、风能、地热的利用等,已成为世界各国在制冷、空气调节技术发展中的一个重要研究课题。

制冷与空气调节技术,这两个相互独立而又密切相关的学科,将随着工业发展和科学技术的进步物得到更大的应用和普及。制冷与空气调节技术,将在国民经济各个领域(如国防、交

通、化工、机械制造、航空、仪表、电子、医药、食品工业、农业以至宇航等部门)广泛采用,成为促进生产发展、提高工艺水平及完善科学研究的重要条件。制冷与空气调节技术的广泛应用已成为人类生活、生存以及与自然环境中斗争不可缺少的手段。2010年中国上海世博会的主题是:城市让生活更美好(Better city, Better Life)。制冷、空调技术应用已渗透到上海世博会的各个场馆,给城市和生活增添了更多,更好,更丰富的内容,也给中国和各国参观者提供更舒适的享受!

第1章 制冷工程热力学基础

Chapter 1 Fundamentals of Refrigeration Engineering Thermodynamics

制冷与空气调节技术(Technology of refrigeration and air-conditioning)已被广泛用于国民经济各个领域和人民生活的各个方面,已成为我国科学技术发展中的两个重要学科。热力学(Thermodynamics)、流体力学(Hydromechanics)及传热学(Heat transfer)是工程技术人员研究、设计、制造和管理制冷机及空气调节系统的理论基础。

1.1 工质及热力学参数

Working Substance and Thermodynamic Parameters

1.1.1 工质

在热力工程中,用来实现能量转换的物质称为工质(Working substance)。不同类型的制冷机中的工质很多,有氟利昂(Freon)、氨(Ammonia)、空气(Air)、水(Water)、溴化锂(Lithium-bromide)、碳氢化合物(Hydrocarbon)等。它们在制冷系统中循环、传递和转移热量,常被称作制冷剂(Refrigerant)、载冷剂(Secondary refrigerant)和吸收剂(Absorbent)等。

制冷机的作用是把被冷却物体的热量转移到周围温度较高的介质——水或空气中,使被冷却物体温度降低,并在给定的时间内维持一定的低温。制冷机把低温物体的热量转移到高温物体,必须付出一定的能量作为代价来补偿。更多的制冷机是通过消耗电能转变为制冷压缩机(Refrigerant compressor)的机械功,而把低温物体的热量转移到高温物体中去。

制冷机(Refrigerating machine)、热机(Heat engine)及泵(Pump)均通过消耗机械功(Mechanical work)来转移能量。热机的工作是把高温热源(Heat source)的热量中的一部分转移到低温热源,同时向外界作机械功。而制冷机的工作,则是利用外界输入的机械功作为代价把低温热源的热量连同机械功的热量一起转移到高温热源,实现制冷。

自然界的物质有固态、液态和气态三种。三种状态的特征有所不同,在一定条件下多数物质能够产生状态变化(相变),并伴随着热量的释放和吸收。在制冷装置中,工质均以气态、液态或气液混合物的形式在系统中流动,完成制冷或制热。

制冷装置(Refrigerating plant)中,制冷剂由液态变为气态,或由气态变为液态,甚至由气或液态变为固态,都是在一定条件下进行的,这种状态(或相态)的变化称相变(Phase change)。通常把物质由液态变为气态称气化(Vaporization),气态变为液态称凝结或冷凝(Condensation),固态变为气态称升华(Sublimation),液态变为固态称凝固(Freezing),固态变液态称熔解或融解(Fusion)等。在这些状态变化过程中,各种物质其温度与压力之间均有一定的关系,并伴随着热量的传递与转移。作为常用的蒸汽压缩式制冷机(Vapor compression refrigerating machine),其工作原理就是利用制冷剂在由压缩机、冷凝器、蒸发器和节流阀四