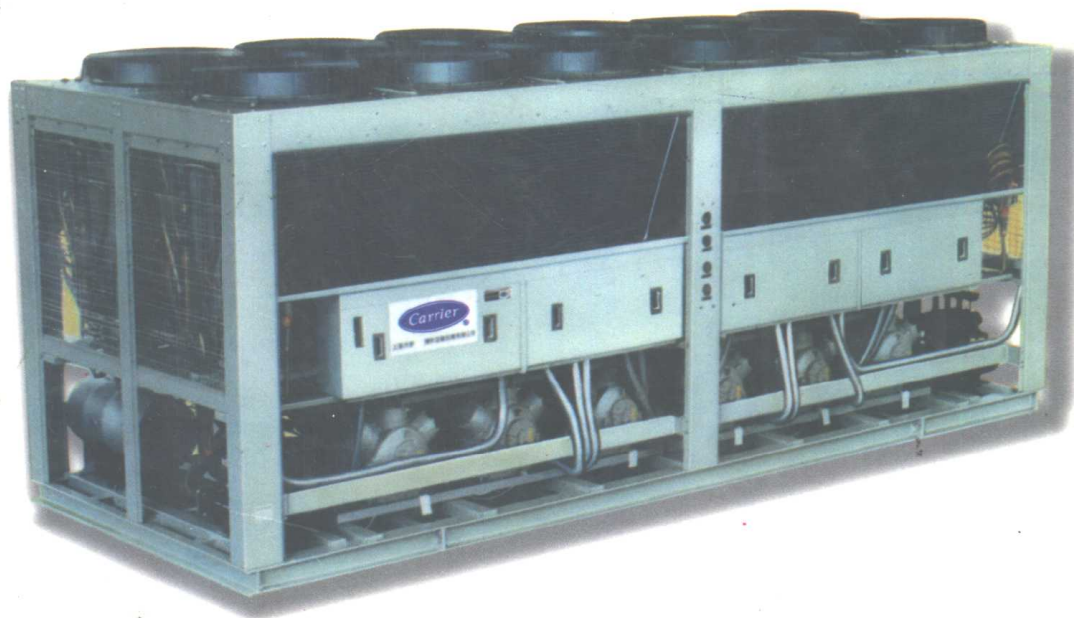


IBENG JI SHU

空调用 热泵技术及应用

主 编 蒋能照
副主编 姚国琦
周启瑾
吴兆琳



机械工业出版社

空调用热泵技术及应用

主 编 蒋能照

副主编 姚国琦 周启瑾 吴兆琳

主 审 董天禄



机械工业出版社

本书以空调用压缩式热泵为主,叙述了各种热泵的原理、循环、工质、热源和驱动方式。重点叙述了空调用热泵机组的类型、结构、性能、应用、安装和调试。包括热泵型房间空调器和单元式空调机,以及往复式、螺杆式、热泵冷热水机组等。除了空气源热泵机组外,还介绍了近代发展的水源热泵。书中还详细叙述了热泵用的各种不同类型的压缩机、换热器、自控阀门的原理、结构和设计选用方法,专章介绍了国外热泵技术的新发展。为反映产品水平及推广应用和选型的需要,还组织了国内外著名厂商介绍产品的性能、规格和技术参数。同时还阐述了热泵机组的典型工程实例及有关热泵标准。本书是一本实用性很强的专业技术书,适用于从事空调用热泵的设计、制造、使用和运行管理、安装调试的不同层次专业人员阅读与参考,以及作为专业技术教学参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

空调用热泵技术及应用/蒋能照主编。—北京:机械工业出版社,1997. 9
ISBN 7-111-05815-1

I. 空… II. 蒋… III. 空气调节器-热泵-基本知识 IV. TB657. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 17648 号

出 版 人:马九荣(北京市百万庄南街 1 号 邮政编码 100037)

责任编辑:范兴国 陈国华 版式设计:冉晓华 责任校对:贾立萍

封面设计:姚 毅

机械工业出版社京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1997 年 9 月第 1 版·1997 年 9 月第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·25.75 印张·4 插页·640 千字

0 001—5000 册

定价:29.80 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

积极推广、应用、发展
节能低耗 保护环境的
空调用热泵技术。

陆燕荪

一九九七、七、一

《空调用热泵技术及应用》 编辑工作委员会

主 任	宋国强					
副主任	张芝兰	任乔金	甘 毅	何永恒	沈荣发	金伟明
	陈健一	陈天麟	何继乔	蒋能照	董天禄	范存养
	缪道平	绪方义勋				
秘书长	姚国琦	吴兆琳				
委 员	杨化夷	吕林泉	骆新荣	余克明	许建晖	丁卫列
	王林德	陈 林	岳孝方	谢鸣飞	施 平	陈六宝
	羌仁山	李成华	陈林昌	许晓声	汪毓瑶	崔颖琦
	刘 斯	俞培培	刘晓苏	张佳崢	史伟成	殷兴文
	许 平	周启瑾	余国和	耿惠彬	邬志敏	伍伯阳
	矢仓保					
主 编	蒋能照					
副主编	姚国琦	周启瑾	吴兆琳			
主 审	董天禄					

前 言

随着我国城市建设中楼宇、住宅迅速兴建,人民生活水平的提高和生活条件的改善,热泵作为一种节能型制冷空调产品已从工业应用转入空调领域,并得到了愈来愈广泛的应用,其增长势头喜人。空调用热泵具有冬季供热、夏季制冷的双重功能,它特别适用于我国长江流域南方的气候特征,发挥其独特的优势,而且也可在北方地区获得合适的应用。使用空调用热泵还可以省却锅炉房,供热无污染,能量利用系数高,机组可室外安置,不需专用机房,可减少土建工程的投资,运行过程采用电脑控制,机组安装方便,管理、维修简单。它可广泛应用于宾馆、别墅、医院、影剧场、体育馆、娱乐中心、商业大厦、工矿企业等部门。为了积极推广、应用节能低耗的空调用热泵技术,适应我国城市建设、工业技术的迅速发展,满足对制冷空调设备日益增长的需要,促进应用技术的普及与提高,由中国制冷空调工业协会组织有关专家、教授、工程师共同编写了这本书。

本书由上海理工大学蒋能照教授任主编,负责制订编写大纲和各章节的统稿、审改及负责部分章节编写工作。上海工程成套建设总公司姚国琦工程师、上海理工大学周启瑾教授、吴兆琳副教授任副主编。姚国琦负责本书策划、组织工作和部分章节编写工作。周启瑾、吴兆琳担任本书有关章节审改工作和部分章节编写工作。上海市通用机械技术研究所董天禄教授级高级工程师任主审。中国制冷空调工业协会何永恒高级工程师负责本书策划、协调、联络工作。担任本书审改工作的还有上海理工大学缪道平教授、同济大学范存养教授。参加部分章节审稿的有杨化夷高级工程师,吕林泉高级工程师、应坚强工程师。全书共15章,各章编写人员是:第1章蒋能照,第2章余国和,第3章范存养,第4章蒋能照,第5章缪道平、邬志敏、卜啸华,第6章周启瑾,第7章江锋,第8章方晓青,第9章周启瑾、郁惟昌、谈磊、张琍敏,第10章周启瑾、许建晖,第11章吴兆琳、姚国琦,第12章吴兆琳,第13章耿惠彬,第14章唐良士,第15章姚国琦,附录姚国琦、蒋能照。

在上海工程成套建设总公司、上海理工大学、上海市制冷学会编译委员会通力合作下,在上海合众-开利空调设备有限公司、上海冷气机厂、上海新晃制冷机械有限公司、浙江国祥制冷工业有限公司、浙江吉佳机电设备有限公司、捷丰集团中国总部、广东吉荣空调设备公司、无锡申达空调设备有限公司、上海桑菱环境能源研究所等单位的大力支持下,在日本三菱重工冷热系统公司,美国艾默生电气(中国)投资有限公司,美国谷轮公司等国外著名厂商的积极参与下,完成了本书编写工作。此外,在本书审定工作中得到了上海合众-开利空调设备有限公司的热情帮助,在此一并致谢。

由于编者水平有限,书中错漏之处,恳请读者批评指正。

编 者

1997年6月

常用符号、名称和单位

A	面积	m^2	r	气化潜热	J/kg
c_p	质量定压热容	$J/(kg \cdot K)$	s	比熵	$J/(kg \cdot K)$
c_v	质量定容热容	$J/(kg \cdot K)$	T	热力学温度	K
c	相对余隙容积		t	摄氏温度	$^{\circ}C$
c	声速	m/s	U	电压	V
d	直径	m	u	流速	m/s
E	能量利用系数		V	体积	m^3
f	摩擦系数		v	比体积(比容)	m^3/kg
f	系数(压缩机散热)		W	功	J
h	比焓	J/kg	w	比功	J/kg
I	电流	A	w_B	组分 B 在混合物中的质量分数	
K	传热系数	$W/(m^2 \cdot K)$	π	压力比	
L_p	声压级	dB	α	表面传热系数	$W/(m^2 \cdot K)$
L_w	声功率级	dB	δ	厚度	m
l	长度	m	ε	制冷系数	
M_r	相对分子质量(分子量)		ε_h	制热系数	
m	质量	kg	ζ	热力系数	
n	转速	r/min	η	效率	
P	功率	W	λ	热导率(导热系数)	$W/(m \cdot K)$
p	压力	Pa	μ	动力粘度	$Pa \cdot s$
Q	热量	J	ν	运动粘度	m^2/s
Q_c	制冷量	W	ρ	密度	kg/m^3
q_c	单位制冷量	J/kg	σ	表面张力	N/m
Q_h	制热量	W	τ	时间	s
q_m	质量流量	kg/s	φ	相对湿度	
q_v	体积流量	m^3/s	Re	雷诺数	
q_h	单位制热量	J/kg	Nu	努塞尔数	
$q_{v,h}$	单位体(容)积制热量	J/m^3	Pr	普朗特数	
$q_{v,c}$	单位体(容)积制冷量	J/m^3			
下标					
a	空气		i	内部, 指示	sb 过冷
c	冷凝		l	液体	sp 过热
cr	临界		v	蒸气	w 水
d	排气		m	平均	s 等熵
e	蒸发		o	外部	



KINGAIR

王牌冷气

超越 30 年的国祥企业
品质王牌、信用王牌、服务王牌

亚洲第一家同时取得空调与通风设备 ISO9001 双料认证厂商
亚洲第一家能够生产 240 万大卡(单一压缩机)冰水机厂商,世界八大“列车空调”制造厂
优良卓越的品质和诚信的售后服务是国祥企业的宗旨,采用王牌冷气永远有保障

主要产品

- ◆ 螺杆式冰水主机(Screw Water Chiller)
- ◆ 气冷式冷热水机组(Heat Pump System)
- ◆ 空气调节箱(Air Handling Unit)
- ◆ 风机盘管(Fan Coil Unit)
- ◆ 电脑室恒温恒湿设备(Computer Room Air Conditioner)
- ◆ 储冰节能系统(Ice Bank Energy Saving System)
- ◆ JIS 喷流导引系统(Jet Inducting System)
- ◆ 轴流式风机(Axial Fans)

国祥冷冻机械股份有限公司

KING MACHINERY CO.,LTD.

地址: 台北市敦化南路二段 92 号 4F

电话: 00886-2-7020200

传真: 00886-2-7059195

上海办事处

地址: 上海淮海中路 887 号永新大厦 6F: 6007 室

电话: 021-64672292

传真: 021-64748046

邮编: 200020

浙江国祥制冷工业有限公司

ZHEJIANG KING REFRIGERATION INDUSTRY CO.,LTD.

地址: 浙江省上虞市大三角工业区

电话: 0575-2158818

传真: 0575-2151888 邮编: 312300

北京办事处

地址: 北京海淀区万寿寺甲 3 号 1 门 18 号

电话 / 传真: 010-68427548

电话: 010-66842829-256

邮编: 100081

南京办事处

地址: 南京新街口金陵饭店九层 C3 座

电话: 025-4455888

传真: 025-4454849

邮编: 210005

石家庄国祥制冷设备有限公司

ShiJiaZhuang Guoxiang Refrigeration Equipment Co.,Ltd.

地址: 河北省石家庄市西三街 24 号

电话: 0311-7770849

传真: 0311-7755323 邮编: 050071

杭州办事处

地址: 杭州武林广场 1 号杭州大厦 910 室

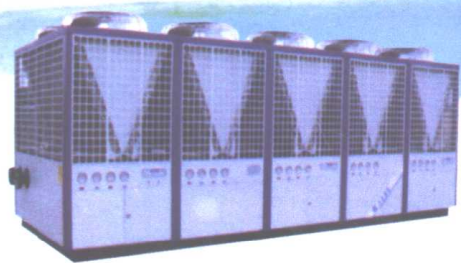
电话: 0571-5153911-930/931

传真: 0571-5153911-910

邮编: 310006

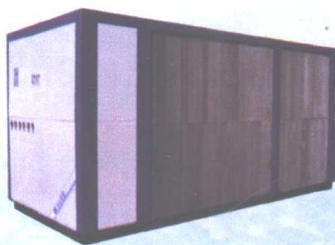
吉佳空调 空调大家

多品种第一家 中央空调著名品牌



中美合资浙江吉佳机电设备有限公司是集科、工、贸、服务于一体的现代企业。

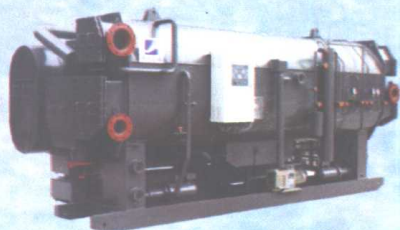
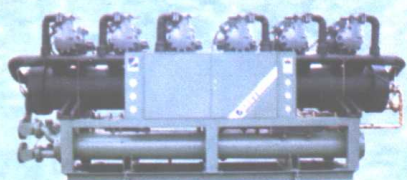
公司依靠科技进步，与浙江大学、上海交大、西安交大、清华、同济等高校及美、德、意、日、韩等国的科研机构开展广泛的科技合作，研究、开发、生产风冷、水冷、溴化锂等中央空调主机及风机盘管、变风量、组合式空气处理机等末端设备共



外高新技术企业行列。二大系列产品被评为“中国公认名牌产品”；四大系列产品分获“国际新技术、新发明、新产品金奖”；四大系列产品被中国制冷学会、中国科协推荐为“新技术产品及节能、高效制冷设备”；吉佳牌中央空调产品被中国制冷学会和中国保护消费者基金会推荐为“第三届制冷空调设备信得过产品”。

十二大系列350多个型式规格的中央空调产品，并在全国各大中城市设立了集销售和售后服务于一体的分公司（办事处）。产品已覆盖国内使用空调的绝大部分地区。

公司积极推行现代质量管理，1996年取得了ISO-9001质量体系认证，并列入浙江省“五个一批”重点骨干和杭州市区



浙江吉佳机电设备有限公司

地址：浙江安吉环城西路南端高新技术开发区

电话总机：0572-5025304 5025305 转各部

直 线：0572-526394 5026364 5025306

图文传真：0572-5023644

邮政编码：313300

目 录

第1章 概论	1	3.4 排热热源	37
1.1 热泵及其历史发展	1	3.4.1 建筑物内部热源	37
1.1.1 热泵与制冷机	1	3.4.2 生活废水与工业废水	37
1.1.2 热泵的发展简史	1	3.4.3 垃圾热量	39
1.1.3 我国热泵的发展概况	3	3.5 热泵的驱动能源	39
1.2 热泵的分类与基本图式	5	3.5.1 热泵的驱动能源和能源 利用系数	39
1.2.1 分类	5	3.5.2 电动机驱动方式	40
1.2.2 系统基本图式	6	3.5.3 燃料发动机驱动方式	40
1.3 热泵的热力经济性指标	9	3.5.4 汽轮机驱动	42
1.3.1 热泵的性能系数	9	3.6 我国能源现状与热泵应用	42
1.3.2 制热季节性能系数	9	3.7 热泵供热的经济性分析	45
第2章 热泵循环	11	3.7.1 综合评价	45
2.1 理想的热泵循环	11	3.7.2 热泵的能量利用系数分析	45
2.1.1 逆卡诺循环	11	3.7.3 热泵与能源价格的关系	46
2.1.2 洛伦兹 (Lorenz) 循环	12	第4章 热泵工质	49
2.2 机械压缩式热泵循环	13	4.1 热泵工质的历史发展	49
2.2.1 逆布雷顿循环	13	4.2 热泵工质的种类与代号	50
2.2.2 逆斯特林循环	14	4.2.1 热泵工质的种类	51
2.2.3 蒸气压缩循环	16	4.2.2 工质的代号与编写法	52
2.3 热力压缩式热泵循环	21	4.2.3 卤代烃代号的新表示法	54
2.3.1 蒸气喷射式热泵循环	21	4.3 对热泵工质的要求	54
2.3.2 吸收式热泵	23	4.4 热泵工质的性质	55
2.3.3 吸附式热泵	25	4.4.1 热力学性质	55
2.4 其他热泵	26	4.4.2 物理性质	55
2.4.1 热电热泵(温差电热泵)	26	4.4.3 电气性质	55
2.4.2 化学热泵	28	4.4.4 声速	56
第3章 热泵的热源与驱动能源	29	4.4.5 气化潜热	57
3.1 热泵热源、驱动能源与环境	29	4.4.6 安全性	57
3.2 热泵的热源	30	4.4.7 对结构材料的影响	58
3.3 自然能源	32	4.5 传统热泵工质	58
3.3.1 空气	32	4.6 热泵工质的CFC替代	62
3.3.2 水	34	4.6.1 《蒙特利尔议定书》的产生 及修订	62
3.3.3 土壤	35		
3.3.4 太阳辐射	36		

4.6.2 环保型绿色热泵工质的寻求	63	5.7.4 涡旋式压缩机的输气量和效率	118
4.6.3 热泵工质的 CFC 替代	65	5.8 离心式压缩机	119
4.6.4 天然工质	69	5.8.1 离心式压缩机的工作原理	119
4.6.5 氟代醚	71	5.8.2 离心式压缩机的结构	121
第5章 压缩机	72	5.8.3 使用离心式压缩机的加热 塔式热泵系统	122
5.1 压缩机分类	72	第6章 热泵的换热器和附属设备	124
5.1.1 容积型压缩机	72	6.1 翅片管换热器	124
5.1.2 速度型压缩机	72	6.1.1 翅片管换热器的型式和结构	124
5.2 往复式压缩机	73	6.1.2 翅片管换热器的负荷计算	125
5.2.1 往复式压缩机的工作原理	73	6.1.3 制冷剂在水平管内冷凝与蒸发 时的表面传热系数计算	125
5.2.2 往复式压缩机的总体结构型式	73	6.1.4 翅片型式和空气侧的表面 传热系数计算	129
5.2.3 压缩机的润滑	77	6.1.5 制冷剂在翅片管内蒸发和冷凝 时的传热系数和传热面积计算	131
5.2.4 单级往复式压缩机的热力 过程和性能	80	6.1.6 风冷冷凝器的变工况特性	133
5.2.5 热泵用压缩机的特点和要求	84	6.2 水与水的换热器	133
5.2.6 往复式压缩机的输气量调节	87	6.2.1 组合式板式换热器的构造 与选用	133
5.3 滚动转子式压缩机	90	6.2.2 组合式板式换热器的传热 与阻力特性	135
5.3.1 滚动转子式压缩机的工作原理	90	6.3 制冷剂与水的换热器	137
5.3.2 滚动转子式压缩机的结构	90	6.3.1 壳管式换热器的构造和计算	137
5.3.3 滚动转子式压缩机的输气量	92	6.3.2 钎焊板式换热器的构造 及特点	140
5.3.4 滚动转子式压缩机的 输气量调节	93	6.3.3 钎焊板式换热器作为冷凝器 使用时的连接系统	141
5.3.5 滚动转子式压缩机的特点	95	6.3.4 钎焊板式蒸发器的冻结防止	141
5.4 滑片式压缩机	96	6.3.5 各主要钎焊板式换热器制造厂 生产的产品的特点	142
5.5 螺杆式压缩机	97	6.4 热泵机组中的附属设备	144
5.5.1 螺杆式压缩机的工作原理	97	6.4.1 低噪声轴流风机	144
5.5.2 螺杆型线和主要结构参数	99	6.4.2 高压贮液器	145
5.5.3 输气量、功率和效率	100	6.4.3 低压气液分离器	145
5.5.4 螺杆式压缩机的性能调节	101	6.4.4 干燥过滤器	147
5.5.5 带经济器的螺杆式热泵系统	103	第7章 自控阀门及配件	148
5.5.6 开启式螺杆压缩机	105	7.1 制冷剂流量控制及分配	148
5.5.7 封闭式螺杆压缩机	106	7.1.1 热力膨胀阀	148
5.6 单螺杆式压缩机	108	7.1.2 电子膨胀阀	152
5.6.1 单螺杆式压缩机概述	108		
5.6.2 单螺杆式压缩机结构特点	110		
5.7 涡旋式压缩机	111		
5.7.1 涡旋式压缩机的工作原理	111		
5.7.2 全封闭涡旋式压缩机的结构	113		
5.7.3 涡旋式压缩机的一些技术问题	114		

7.1.3 毛细管	153	9.1.1 风冷热泵冷热水机组的型式	189
7.1.4 分液器	156	9.1.2 风冷热泵冷热水机组的 总体结构	190
7.2 电磁阀和四通换向阀	159	9.2 风冷热泵冷热水机组的系统 与工作原理	191
7.2.1 电磁阀	159	9.2.1 使用全封闭往复式压缩机的风冷 热泵冷热水机组	191
7.2.2 四通换向阀	161	9.2.2 使用半封闭往复式压缩机组的风冷 热泵冷热水机组	192
7.3 止回阀和液体指示器	164	9.2.3 使用螺杆压缩机的风冷热泵 冷热水机组	195
7.3.1 止回阀	164	9.3 风冷热泵冷热水机组的 变工况特性	196
7.3.2 液体指示器	165	9.3.1 环境温度、冷水出水温度对机组 性能的影响	196
第8章 热泵型空调机组	167	9.3.2 环境温度、热水出水温度对机组 性能的影响	198
8.1 热泵型房间空调器	167	9.4 风冷热泵冷热水机组冬季的 结霜特性及其影响	200
8.1.1 热泵型窗式空调器	167	9.4.1 空气盘管表面结霜与空气 参数的关系	200
8.1.2 家用分体热泵型空调器	168	9.4.2 空气盘管表面结霜对传热的 影响	201
8.1.3 变频式热泵空调器的 特点与原理	170	9.5 风冷热泵冷热水机组的除霜及 控制方法	202
8.2 商用(大型)分体热泵机组	172	9.6 风冷热泵冷热水机组的电气 控制系统	204
8.2.1 立柜式热泵机组	172	第10章 水源热泵	205
8.2.2 天花板嵌入式和天花板悬吊式 热泵机组	175	10.1 概述	205
8.2.3 屋顶式风冷热泵机组	176	10.2 水源热泵的工作原理	206
8.3 多联系统热泵型空调器	177	10.3 水源热泵空调机的构造和性能	206
8.3.1 一台室外机联两台或三台 室内机系统	177	10.4 水源热泵空调机的变工况特性	208
8.3.2 VRV 系统	177	10.5 水源热泵空调机的电控系统	211
8.4 热泵型家用空调器的电气控制原理 和除霜原理	179	10.6 水源热泵空调机安装时的 注意事项	212
8.4.1 热泵型窗式空调器电气原理	179	10.7 水源热泵空调机系统的组成	213
8.4.2 热泵型分体式空调器的 电气原理	180	10.8 水源热泵空调系统的优缺点	214
8.4.3 热泵型空调机的除霜控制	182	10.9 水源热泵空调系统的加热 与冷却装置	215
8.5 热泵型空调器的安装、维护 和保养	185	10.9.1 水源热泵空调系统的	
8.5.1 安装前的准备工作	185		
8.5.2 窗式空调器的安装	185		
8.5.3 分体式空调机的安装	186		
8.5.4 空调机的维护和保养	188		
8.6 空调机的简易故障分析与处理	188		
第9章 风冷热泵冷热水机组	189		
9.1 风冷热泵冷热水机组的 型式和结构	189		

加热装置	215	有关措施	255
10.9.2 水源热泵空调系统的		13.1.5 内燃机驱动型及其它各种	
冷却装置	215	类型热泵	257
10.10 水源热泵空调系统的适用范围	216	13.1.6 热泵换热设备及除霜	258
第 11 章 热泵在空调工程中的应用	218	13.1.7 热泵膨胀阀及过滤器	259
11.1 热泵机组的选型	218	13.2 国外空调用热泵的应用实例	260
11.1.1 概述	218	第 14 章 空调用热泵机组标准	265
11.1.2 热泵空调系统的设计		14.1 概述	265
方案选择	218	14.2 热泵机组型号编制的规定	266
11.2 热泵型空调机组系统设计概要	221	14.3 热泵机组性能工况和性能指标	
11.2.1 以空气为热源的热泵容量		的规定	269
的确定	221	14.3.1 我国 GB/T7725—1996《房间空气	
11.2.2 辅助加热方式	222	调节器》标准中的规定	269
11.2.3 空气为热源的热泵机组的		14.3.2 我国单元式空气调节机及屋顶式空调	
能量调节	223	机组标准中的规定	270
11.2.4 空气-水热泵机组	223	14.3.3 我国容积式冷水(热泵)机组标准	
11.2.5 空气-空气热泵机组	224	中的规定	272
11.2.6 水-水热泵	224	14.4 性能要求	274
11.2.7 水-空气热泵机组	225	14.4.1 不同负荷工况时性能	274
11.2.8 利用热泵的空调热回收	227	14.4.2 凝露、凝结水排除	274
11.2.9 其它热源热泵	229	14.4.3 低温(冻结)	274
11.3 典型工程应用实例	230	14.4.4 除霜	274
第 12 章 热泵型冷水机组的安装、		14.4.5 压力损失	274
调试和维修	237	14.4.6 能效比和性能系数	274
12.1 空气-水热泵机组的安装	237	14.4.7 噪声	275
12.2 热泵机组的调试与运行	239	14.5 风量测定方法	276
12.2.1 开机前的检查	239	14.6 静压测定方法	276
12.2.2 开机程序	240	14.7 热工性能试验	277
12.2.3 正常运行和保养	241	14.7.1 房间空调器的制冷量和热泵	
12.2.4 几种常见的制冷维修工艺	241	制热量试验	277
12.2.5 开机、运转操作实例	247	14.7.2 单元式空调机和屋顶式空调机组的	
12.3 热泵机组的故障分析及维修	250	制冷量和热泵制热量试验	283
第 13 章 国外空调用热泵的发展	253	14.7.3 容积式冷水(热泵)机组的制冷量	
13.1 国外空调用热泵技术的新发展	253	和热泵制热量试验	286
13.1.1 日本开发超级热泵	253	第 15 章 国内外空调用热泵机组主要	
13.1.2 制冷/采暖/供应热水的		生产厂商产品简介	290
组合空调器	255	15.1 上海合众-开利空调设备	
13.1.3 蓄热变频热泵式空调器	255	有限公司	290
13.1.4 立柜式热泵的研究开发及		15.2 上海冷气机厂	294
		15.3 上海新晃制冷机械有限公司	297

15.4	上海桑菱环境能源研究所	300	15.16	华南空调制冷实业有限公司	336
15.5	上海特艺制冷空调设备 有限公司	303	15.17	捷丰集团	340
15.6	北京万众空调制冷设备 有限公司	306	15.18	佳美(青岛)空调设备有限公司	342
15.7	高川集团扬子江制冷工程 有限公司	308	15.19	春兰集团	345
15.8	浙江吉佳机电设备有限公司	310	15.20	沈阳三洋空调有限公司	348
15.9	浙江余姚捷丰空调设备 有限公司	313	15.21	三菱重工冷热系统公司	350
15.10	浙江余姚捷华压缩机有限公司	315	15.22	赛克(上海,澳洲)机电设备 有限公司	354
15.11	常州西武暖通设备有限公司	318	附录 A	国内外有关生产空调用热泵 机组厂商简介	360
15.12	常州市特种空调器厂	322	附录 B	国内外部分空调用热泵机组相关 配套设备厂商、产品简介	371
15.13	无锡申达空调设备有限公司	324	附录 C	R22、R134a 热力学性质表和 压焓图	387
15.14	无锡佳意冷气有限公司	327	参考文献		395
15.15	广东吉荣空调设备公司	329			

第1章 概 论

1.1 热泵及其历史发展

1.1.1 热泵与制冷机

按新国际制冷辞典(New International Dictionary of Refrigeration)的定义, 热泵(Heat Pump)就是以冷凝器放出的热量来供热的制冷系统。事实上, 从热力学或工作原理上说, 热泵就是制冷机。如果说这两者有什么区别的话, 主要有两点:

(1) 两者的目的不同。一台热泵(或制冷机)与周围环境在能量上的相互作用是从低温热源(Heat Source)吸热, 然后放热至高温热源(或称热汇, Heat Sink), 与此同时, 按照热力学第二定律, 必须消耗机械功。如果目的是为了获得高温(制热), 也就是着眼于放热至高温部分, 那就是热泵。如果目的是为了获得低温(制冷), 也就是着眼于从低温热源吸热, 那就成了制冷机。

(2) 两者的工作温度区往往有所不同。上述所谓高温热源或低温热源都是相对于环境温度而言的。由于上述两者目的不同, 热泵将环境温度作为低温热源, 而制冷机则是将环境温度作为高温热源。那么, 对同一环境温度说来, 热泵的工作温度区就明显高于制冷机。

正是由于有以上两点区别, 在工程实践上热泵与制冷机两者就有许多共性, 也有许多特殊性。

而且, 还要提出存在这样一种有趣的情况, 即当这种装置同时实现制热与制冷功能时, 也就是说, 这种装置运行时高温(冷凝器)输出用作制热, 而低温(蒸发器)吸热用作制冷, 这种“一举两得”功能的联合装置既可称热泵也可称制冷机。

1.1.2 热泵的发展简史

热泵这个名词最早在欧洲使用约在本世纪初。但就压缩式热泵的理论来说, 可追溯到1824年法国物理学家卡诺(S. Carnot)发表的著名论文。

19世纪初, 人们对热能是否可“泵”送至较高的温度发生了兴趣。英国物理学家焦耳(J. P. Joule)论证了改变气体的压力能引起温度变化的原理。英国汤姆森(W. Thomson)教授, 以后改名为开尔文(Lord Kelvin)勋爵, 于1852年发表的论文中首先提出并描述了关于热泵的设想。当时称为热量倍增器(Heat Multiplier)(见图1-1)。该装置有一个吸入气缸和一个排出气缸, 均由蒸汽机驱动。室外空气被气缸吸入, 膨胀降温后被排至室外作为换热器用的贮气筒, 在其中吸收外界空气热量并升温。然后进入排出气缸被压缩至大气压力, 此时空气的温度已高于环境温度, 最后被排送至需供暖

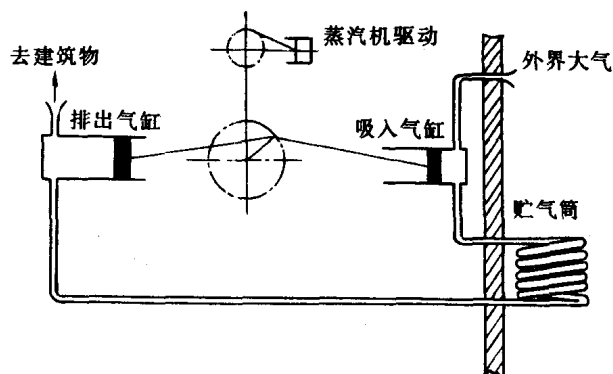


图 1-1 汤姆森的热量倍增器

的建筑物内。这是一种开式装置,也可以向建筑物供冷。汤姆森教授预见到了闭式循环的可能性,但当时的技术基础使他没有可能设计出象现代这样的热泵装置。

与制冷机的发展相比,由于取暖的方式多样化,简单而价廉,因此当时在技术上对热泵的迫需性就不大。这就是热泵的发展明显地滞后于制冷机的原因。

直至本世纪 20~30 年代,热泵有了较快的发展。一方面,在这之前工业技术特别是制冷机的发展为热泵的制造奠定了良好的基础,另一方面社会上出现了对热泵的需要。有代表性的是英国霍尔丹(Haldane)于 1930 年在他的著作中报导了 1927 年在苏格兰安装试验的一台家用热泵。用氨作工质,外界空气为热源,用来作为采暖及加热水。这是英国安装的第一台热泵。当时霍尔丹已能认识到通过简单的切换制冷循环来实现冬季供热,夏季制冷的可能性。他还研究了利用废水热量,廉价的低谷电力,带废热回用的柴油机及在低温热源端制冰等问题。

在这之后,美国开始对热泵进行了不少设计与研究,但能进行试验的很少。至 1931 年间,美国南加利福尼亚安迪生公司的洛杉矶办公楼,将制冷设备用于供热,这是大容量热泵的最早应用,供热量达 1050kW,制热系数达 2.5。欧洲第一台较大的热泵在 1938~1939 年间,安装于瑞士苏黎世。以河水作低温热源,采用离心式压缩机,R12 作工质,向市政厅供热 175kW,制热系数为 2,输出水温 60℃,有蓄热系统,在高峰负荷时采用电加热作为辅助加热。该装置夏季也能用来制冷。

第二次世界大战的爆发,一方面影响与中断了空调用热泵的发展,另一方面战时能源的短缺促进了大型供热和工艺用热泵的发展。对木材及其他生物制品的干燥不仅有明显的节能效果,而且能改善产品质量。而在物料的浓缩工艺中,只需将蒸发装置中产生的废气采用压缩热泵提高一些温度便可重复用于对装置的加热,热泵在这种场合下使用因温升少其制热系数极高。同样在精馏装置中应用热泵的经济性也非常好。热泵在二次大战中也直接用于战事装备,如美国制造了一万台蒸馏热泵为上百万的人们提供饮用水。

在美国,各种空调与热泵机组于战后开始发展起来。至 1950 年,已有 20 个厂商及十余所大学和研究单位从事热泵的研究。当时拥有的 600 台热泵中,约 50%用于房屋供暖,45%为商用建筑空调,仅 5%用于工业。通用电气公司生产的以空气为热源,制热与制冷可自动切换的机组打开了局面,使空调用热泵作为一种全年运行空调机组而进入了空调商品市场。1957 年美国军事当局决定在建造大批住房项目中用热泵来代替原先设想的燃气供热方案,这又使热泵的发展形成了一个高潮。数十家空调设备制造商匆忙赶制热泵,导致数以万计的压缩机损坏,连维修更换都来不及。至 60 年代初,在美国安装的热泵机组已达近 8 万台。然而,由于过快的产品增长速度造成制造质量较差,设计安装水平低,维修及运行费过高,成了美国热泵发展史上的一个重大的挫折,大大影响了热泵的声誉,使热泵进入 10 年左右的调整期,直至 70 年代中期才重新有了快速增长。这一方面是由于热泵技术的发展,机组可靠性的提高,另一方面是 1973 年能源危机的推动。至 1978 年美国的热泵产量已近 60 万台,而至 1988 年,美国包括热泵在内的房间空调器和单元式空调机的年产量已分别达 463 万台和 321 万台。至 1996 年单元式空调机年产量达 567 万台,而空气源热泵年产量达 114 万台。

与美国早期的迅速发展相比,欧洲一些国家热泵的发展较为缓慢。直至 1973 年能源危机时,才又一次推动了世界范围内热泵的发展。瑞士被称为是传统的热泵国家。瑞典、挪威等北欧国家对取暖的需求明显超过对夏季空调的要求,故在热泵理论及技术上均有许多研究。还有象德国、法国、苏联等国家对热泵的研究也十分重视。在德国最为广泛应用的是一种既可

降低地窖食物贮藏室温度又可供应生活用热水的“一举两得”式热泵热水器。而热泵用于区域供暖则以瑞典为最多。斯德哥尔摩市区域供暖的容量约有 50% 由大型热泵提供。

一些国际组织如国际制冷学会(IIR)、世界能源委员会(WEC)、国际能源机构(IEA)等,经常组织有关热泵的国际活动与学术会议,促进热泵技术的发展。1992~1994 年,国际能源机构的热泵中心在国际制冷学会合作下进行了国际热泵状况与政策调研,对于 25 个国家(其中包括经济合作发展组织 OECD 美、日、英、法、德等 16 国和中、韩、巴西、捷克等 9 国)在热泵方面的技术和市场状况、有关政策和国际合作等进行了调查和分析。全世界已经安装运行的热泵已超过 5500 万台。除住宅用热泵外,世界上已有 7000 台工业热泵在使用,近 400 套区域集中供热系统在供热。据统计,全世界的供热需求量中由热泵提供的近 2%。表 1-1 列出了某些国家供热需求量及由热泵供热的百分比。

表 1-1 某些国家供热需求量及热泵供热百分比

国别	总供热需求		屋宇的供热需求	
	供热需求/(10^{12} Wh/a)	热泵供热/%	供热需求/(10^{12} Wh/a)	热泵供热/%
德国	1700	0.1	1150	0.15
日本	1400	2.8	400	9.5
美国	7700	3.5	3250	8.2
瑞典	270	3.7	140	7.2
瑞士	85	1.6	70	2.0

简要回顾一下热泵在日本的发展也颇具意义。日本最早进行热泵试验是在 1930 年。其发展大致可分几个时期。

1. 开创期(1930~1949)。当时热泵是用进口的部件组装的。有代表性的是 1937 年在大型办公楼内安装了两台 194kW 压缩机的带有蓄热箱的热泵系统。以井水为热源,制热系数达 4.4。二次大战中停止了热泵的发展。

2. 重建期(1950~1964)。战后食品十分短缺,尤其是食盐。当时发展了从海水中制盐的电力热泵。60 年代以后,热泵才逐渐由工业应用向空调用发展。

3. 起飞期(1965~1970)。60 年代日本工业的发展造成大城市空气污染严重,政府颁发了一些强制性环保法规,促进了热泵的应用与发展。

4. 快速增长期(1971~1985)。日本是能源短缺的国家,1973 年的石油危机影响很大,在政府鼓励下,设计人员致力于节能建筑,高效系统的设计,大大促进了各型热泵的发展。1985 年房间空调器年产量约 350 万台(其中热泵型约 220 万台),商用空调器约 55 万台(其中热泵约 37 万台),可见热泵在空调器中的比例约占 65%。

5. 成熟期(1986 年以后)。80 年代后期(1989 年),各种热泵年产量为 565 万台,热泵在空调机中的比例约 65%。热泵的年产量不断发展,至 1996 年,房间空调器年产量达 800 万台(其中热泵型约 700 万台),商用空调器产量达 92 万台(其中热泵约 75 万台)。热泵在空调器中的比例也上升至 87% 左右。80 年代末,在政府资助下开展高性能的超级热泵项目研究。

1.1.3 我国热泵的发展概况

我国的热泵工业相对于世界上工业发达国家的热泵发展与应用说来,有一段明显的滞后期。1965 年,原上海空调器厂的前身上海冰箱厂研制成我国第一台制热量为 3720W 的 CKT-3A 热泵型窗式空调器,但因换向阀的工作可靠性等原因,长期未有所发展。相比之下,我国