

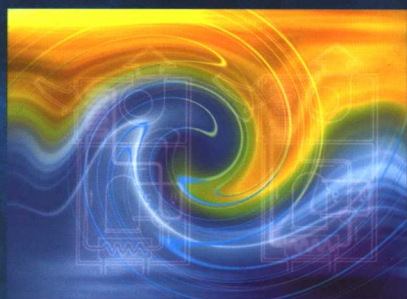
节 能 与 环 境 保 护 丛 书

# 热 泵 技 术

张 旭 等 编 著



化 学 工 业 出 版 社



## 节 能 与 环 境 保 护 丛 书

强化传热技术

烟气热能梯级利用

蒸汽凝结水的回收及利用

建筑环境与建筑节能

**热泵技术**

城市垃圾的处理与利用技术

冷热电联产技术

热管技术

洁净燃烧技术

空调蓄冷技术与设计



[www.cip.com.cn](http://www.cip.com.cn)

读科技图书 上化工社网

ISBN 978-7-5025-9833-4



9 787502 598334 >

销售分类建议：能源 / 节能

定价：40.00元

节能与环境保护丛书

# 热 泵 技 术

张 旭 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书为《节能与环境保护丛书》之一。

空调技术为人们提供了便于生活和生产的适宜条件，但它大量消耗能源并对环境有影响，加强研究推广可以利用低品位能量的热泵技术已成为空调技术中最重要的任务之一。本书系统论述热泵的基本理论与技术，包括热泵的起源及发展、热泵分类、热泵循环、热泵工质、热泵系统节能技术及技术标准等，详细介绍了各种类型的热泵、热泵型空调机组及其应用。

本书编写的原则以实用为主，适度反映热泵技术的最新发展，其中部分内容是作者的科研成果。本书可供暖通空调行业工程技术人员使用，也可作为大专院校相关专业教学参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

热泵技术/张旭等编著. —北京: 化学工业出版社, 2007. 1  
(节能与环境保护丛书)  
ISBN 978-7-5025-9833-4

I. 热… II. 张… III. 热泵-技术 IV. TH3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 011615 号

---

责任编辑: 戴燕红                      文字编辑: 王 琳  
责任校对: 蒋 宇                      装帧设计: 关 飞

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)  
印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司  
装 订: 三河市延风装订厂  
787mm×1092mm 1/16 印张 16 字数 387 千字 2007 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899  
网 址: <http://www.cip.com.cn>  
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 40.00 元

版权所有 违者必究

## 节能与环境保护丛书

主 编 林宗虎 院士

副主编 俞炳丰 教授

张 旭 教授

车得福 教授

## 序

为了全面建设小康社会、不断开创中国特色社会主义事业的新局面，必须大力推进科技进步和创新，进一步发挥科学技术对经济社会全面发展的关键性作用。要大力发展高新技术和先进适用技术。要大力加强能源领域的科技进步和创新，提高我国资源特别是能源和水资源的使用率，减少资源浪费。要大力加强生态、环境领域的科技进步和创新，降低污染物的排放，加强对废弃物的再次利用，发展循环经济。这些都是中央当前对我国广大科技人员提出的殷切希望和要求。

我国虽然资源不少，但人口众多，人均能源资源十分有限。人均化石燃料仅为世界均值的56%，石油天然气人均可采储量仅为世界均值的8%。水力资源可开发量虽达3.79亿千瓦，但人均不到0.3千瓦。且一次能源消耗中主要为煤炭，约占总能源消耗的70%，即使到2050年，煤炭耗量预计也将占一次能源总耗量的50%，因此环境污染严重。我国三分之一以上国土受到酸雨危害，如不采取措施，二氧化碳排放量预计将从2000年占全球总量的12.7%增加到2020年的16.7%。此外，空气中的粉尘、二氧化硫和氮氧化物的污染也很严重。因此，加强节能、提高能源利用率和改善能量利用中的环境保护已成为我国经济持续发展中的一个重要课题。

随着我国国民经济发展和人民生活水平的提高，家用电器的大量使用和建筑业的迅速发展不仅使能耗进一步增大，并且引起新的环境保护问题。

为了促进和推动节能工作，改善能量利用中的环境保护，特编辑出版了这一套丛书。这套丛书共9本，书名分别为：《强化传热技术》，《烟气热能的梯级利用》，《蒸汽凝结水的回收及利用》，《建筑环境与建筑节能》，《热泵技术》，《城市垃圾的处理与利用技术》，《冷热电联产技术》，《热管技术》和《洁净燃烧技术》。每本著作均由知名专家根据国内外近期科研成果和工程实践执笔编著，可供大专院校师生、科研院所和工矿企业相关科技人员应用和参考。希望这套丛书能对我国的节能和环保事业的发展有所裨益。

中国工程院院士

林宗虎

# 前 言

众所周知，现代人类文明是建立在大量消耗能源和物质基础之上的。空调的主要任务是在某个特定的环境中创造符合人体舒适需要或能满足某些工业生产过程要求的微气候环境，目前这些任务是通过某些设备并消耗大量能源来完成的。空调技术为人们提供了便于生活和生产的适宜条件；但它又大量消耗能源，并产生对大气环境有害的气体。目前所使用的空调系统大多是在影响自然环境平衡条件下运行，当代对人类生存构成巨大威胁的诸如全球气候变暖、大气臭氧层受到破坏等严重环境问题都与 HVAC & R（暖通空调及制冷）行业有关。如何依靠科学技术，把提高能源利用率、改善现有能源结构与全球可持续发展以及为当代和后代保护全球气候等重大问题联系起来，是可持续发展理论最重要的内容之一。受这一理论直接影响，加强研究并注重利用推广可以利用低品位能量的热泵技术已成为空调技术中最重要的任务之一。

本书编写的原则以实用为主，适度反映热泵技术的近期发展，其中部分内容是本人及所指导研究生的科研成果。本书可供专业技术人员使用，也可作为相关专业大学教学参考书。

本书由张旭主编并执笔第 1 章、第 2 章、第 5 章、第 10 章，许旺发执笔第 3 章、第 7 章，朱春执笔第 4 章并参加了第 5 章部分撰写工作，傅允准执笔第 6 章，李雅昕主要执笔第 8 章，傅允准、韩星、李魁山、隋学敏、刘俊分别参加了第 9 章、第 10 章部分撰写工作，朱乐琪主要执笔第 11 章和第 5 章部分内容，最后由张旭统稿。非常感谢这批优秀的年轻人，把他们的部分研究心得与大家共享。

本书的出版得到了化学工业出版社的大力帮助和热情支持，在此表示衷心的感谢。

由于作者认识有限，而热泵技术涉及面广，难免存在不足，望读者能不吝赐教，以便在以后的科研教学中改进。

# 目 录

<b>1 绪论</b> .....	1
1.1 热泵的起源及其发展历史 .....	1
1.1.1 热泵的定义与制冷机 .....	1
1.1.2 热泵技术的应用范围 .....	1
1.1.3 热泵的起源及其发展历史 .....	2
1.2 热泵的分类 .....	4
1.2.1 按驱动能源种类分类 .....	5
1.2.2 按工作原理分类 .....	5
1.2.3 按热源种类分类 .....	5
1.2.4 按主要用途分类 .....	5
1.2.5 按供热温度分类 .....	5
1.2.6 按热源与供热介质的组合方式分类 .....	5
1.2.7 按压缩机类型分类 .....	7
1.2.8 按热泵供能方式分类 .....	7
1.2.9 按热泵机组安装形式分类 .....	7
1.2.10 按热量提升级数分类 .....	7
参考文献 .....	7
<b>2 热泵的驱动能源及性能评价指标</b> .....	8
2.1 热泵的热源 .....	8
2.1.1 自然能源 .....	9
2.2 热泵排热热源 .....	14
2.2.1 建筑物内部热源 .....	14
2.2.2 生活废水及工业废水 .....	15
2.3 热泵的驱动能源 .....	17
2.3.1 热泵的驱动能源和能源利用系数 .....	17
2.3.2 电驱动热泵 .....	18
2.3.3 燃气驱动热泵 .....	19
2.3.4 电动热泵和燃气热泵技术性能比较 .....	20
2.3.5 电动热泵和燃气热泵经济性分析 .....	22
2.4 热泵性能的评价指标与经济性分析 .....	24
2.4.1 热泵的性能系数 .....	25
2.4.2 热泵的制热季节性能系数 .....	25
2.4.3 热泵能源利用系数 .....	26
2.4.4 热泵的焓效率 .....	27
2.4.5 热泵经济效益评价方法 .....	27
2.4.6 热泵的环保效益 .....	28



参考文献 .....	29
<b>3 热泵循环</b> .....	30
3.1 理想的热泵循环 .....	30
3.1.1 逆卡诺循环 .....	30
3.1.2 劳仑兹循环 .....	31
3.2 蒸气压缩式热泵循环 .....	32
3.2.1 蒸气压缩式热泵的理论循环 .....	32
3.2.2 蒸气压缩式理论循环的热力计算 .....	33
3.2.3 蒸气压缩式热泵的实际循环 .....	33
3.3 跨临界热泵循环 .....	36
3.4 热力驱动热泵循环 .....	37
3.4.1 蒸气喷射式热泵循环 .....	37
3.4.2 吸收式热泵循环 .....	38
3.4.3 吸附式热泵循环 .....	40
3.5 其他热泵循环 .....	42
3.5.1 热电热泵 .....	42
3.5.2 化学热泵 .....	43
参考文献 .....	45
<b>4 热泵工质</b> .....	46
4.1 热泵工质发展及面临的环境问题 .....	46
4.1.1 热泵工质发展 .....	46
4.1.2 工质的环境问题 .....	47
4.2 热泵工质的种类及代号 .....	50
4.2.1 热泵工质的种类 .....	50
4.2.2 工质的代号与编写法 .....	51
4.2.3 卤代烃的新表示法 .....	51
4.3 对热泵工质的要求 .....	52
4.4 热泵工质的性质 .....	53
4.4.1 热力学及热物理性质 .....	53
4.4.2 电气性质 .....	53
4.4.3 化学、安全和环境可接受性 .....	55
4.5 传统热泵工质及替代 .....	56
4.5.1 传统热泵工质 .....	56
4.5.2 热泵工质替代 .....	59
4.5.3 对制冷装置的影响 .....	65
参考文献 .....	65
<b>5 小型热泵型空调机组</b> .....	66
5.1 热泵型房间空调器 .....	66
5.1.1 热泵型窗式空调器 .....	66
5.1.2 分体式家用热泵型空调器 .....	67
5.1.3 家用变频式热泵型空调器 .....	70

5.2	商用多联式空调系统	71
5.2.1	普通多联式空调系统	71
5.2.2	变频多联式空调系统	74
5.2.3	数码涡旋多联式空调系统	77
5.3	热泵型空调机组(系统)安装与调试	89
5.3.1	安装前的准备工作	89
5.3.2	窗式空调器的安装	89
5.3.3	分体式空调器的安装	89
5.4	热泵型空调机组(系统)维护与保养	91
5.5	热泵型空调机组(系统)简易故障分析与处理	91
	参考文献	92
<b>6</b>	<b>水源热泵</b>	<b>93</b>
6.1	水源热泵的适用性分析	93
6.1.1	水环热泵系统	93
6.1.2	地下水源热泵空调系统	94
6.1.3	地表水热泵空调系统	94
6.2	水源热泵的工作原理	94
6.3	水环热泵空调系统的组成和运行特点	95
6.3.1	水环热泵空调系统的组成	95
6.3.2	水环热泵空调系统的运行特点	96
6.3.3	水源热泵空调系统的特点	96
6.4	水源热泵空调机的变工况特性	98
6.5	换热器防腐防藻的技术措施	101
6.5.1	缓蚀剂	101
6.5.2	电化学保护	103
6.5.3	表面技术	103
6.5.4	结构设计	104
6.5.5	杀菌灭藻剂	105
6.6	水源热泵空调系统设计要点	106
6.6.1	建筑物供暖和供冷负荷	106
6.6.2	机组的选择和布置	106
6.6.3	水循环管路	108
6.6.4	凝结水管的设计	111
6.6.5	排热设备的选用	112
6.6.6	加热设备的选用	113
6.6.7	循环水泵的选择	114
6.6.8	蓄热水箱的确定	115
6.6.9	新风与排风系统的设计	117
	参考文献	120
<b>7</b>	<b>空气源热泵冷热水机组</b>	<b>121</b>
7.1	空气源热泵冷热水机组技术特性	121

7.1.1	空气源热泵冷热水机组特点	121
7.1.2	空气源热泵冷热水机组低温适应性	122
7.1.3	空气源热泵冷热水机组冬季结霜特性	124
7.2	空气源热泵冷热水机组工作原理与结构	128
7.2.1	空气源热泵冷热水机组工作原理	128
7.2.2	空气源热泵分类	129
7.2.3	空气源热泵冷热水机组的结构	130
7.3	空气源热泵空调机组变工况特性	132
7.3.1	环境温度、冷水出水温度对机组制冷性能的影响	132
7.3.2	环境温度、热水出水温度对机组制热性能的影响	132
7.4	空气源热泵空调机组冬季除霜控制技术	133
7.4.1	除霜方法	133
7.4.2	除霜控制技术	135
7.5	空气源热泵系统设计要点	138
7.5.1	热泵机组有效制冷制热量	138
7.5.2	热泵平衡点温度与辅助热源	138
7.5.3	热泵容量的选择	139
7.5.4	机组的防腐问题	140
7.5.5	机组的布置	140
	参考文献	141
<b>8</b>	<b>土壤源热泵</b>	<b>142</b>
8.1	土壤源热泵系统的适用性分析	142
8.1.1	节能性分析	143
8.1.2	环境效益分析	143
8.1.3	技术性分析	143
8.1.4	经济性分析	144
8.2	土壤源热泵系统的形式和结构	145
8.2.1	土壤耦合热泵系统	146
8.2.2	水源热泵	147
8.3	土壤源热泵系统埋地换热器设计计算方法	149
8.3.1	土壤源热泵系统的设计基础资料	149
8.3.2	土壤源热泵系统的选择和设计步骤	154
8.3.3	地下耦合热泵系统的设计	154
8.4	土壤源热泵系统埋地换热器合理管间距及恢复特性分析	157
8.5	土壤源热泵系统埋地换热器的施工	159
8.5.1	垂直埋管的施工	159
8.5.2	水平埋管的施工	160
8.6	适用于土壤源热泵空调系统的节能末端装置	160
8.6.1	新风承担房间湿负荷的可行性分析	161
8.6.2	设计最小新风量承担房间湿负荷的可行性	161
8.7	太阳能-土壤源热泵系统	162

8.7.1	太阳能-土壤源热泵系统的形式	163
8.7.2	太阳能-土壤源热泵系统的结构、原理及其功能	163
8.7.3	太阳能-土壤源热泵系统的运行模式及其运行流程图	163
8.8	桩基式土壤源热泵系统	164
	参考文献	165
<b>9</b>	<b>燃气热泵</b>	<b>166</b>
9.1	燃气发动机热泵概论	166
9.1.1	燃气发动机热泵的工作原理	166
9.1.2	燃气发动机热泵(冷水机组)的类型	168
9.1.3	燃气发动机热泵(冷水机组)的特点	171
9.2	燃气发动机热泵机组构成	173
9.2.1	燃气发动机	173
9.2.2	压缩机	182
9.2.3	冷凝器	183
9.2.4	蒸发器	183
9.2.5	其他设备	183
9.3	燃气发动机热泵的控制系统和远程监控	184
9.3.1	燃气发动机热泵的控制系统	184
9.3.2	燃气发动机热泵机组的集中控制功能	186
9.4	燃气发动机热泵的应用	188
9.4.1	室外和室内游泳池	188
9.4.2	人造冰场和游泳池联合装置	189
9.4.3	公寓建筑	189
9.4.4	办公用房	191
9.4.5	独家住宅和两家合用住宅	191
	参考文献	193
<b>10</b>	<b>热泵系统节能新技术</b>	<b>194</b>
10.1	热泵变频节能技术	194
10.1.1	概述	194
10.1.2	变频空调器的工作原理及技术特点	194
10.1.3	变频空调器节能原理分析	194
10.2	同时供冷供热的热泵系统	197
10.2.1	用双管束冷凝器的热回收热泵系统	197
10.2.2	分散式热泵系统(水环热泵空调系统)	198
10.2.3	可再生能源水环热泵系统与混合系统	200
10.2.4	空气热源-热回收热泵系统	205
10.2.5	四管热泵系统	205
10.3	高湿地区空气源热泵除霜技术	206
10.3.1	空气源热泵结霜机理与除霜的必要性	206
10.3.2	高湿地区气候特点	207
10.3.3	空气源热泵除霜的基本方式	208

10.3.4	四通阀换向逆向除霜 .....	208
10.3.5	显热除霜 .....	209
10.3.6	空气源热泵常用的除霜控制方法 .....	209
10.4	污水冷热源热泵技术应用的关键技术 .....	210
10.4.1	污水水质与流动 .....	211
10.4.2	污水的取用工艺问题 .....	211
10.4.3	污泥沉积问题 .....	212
10.4.4	悬浮物堵塞设备、管路问题 .....	212
10.4.5	生物膜、油膜的挂壁问题 .....	213
10.4.6	设备、管路的材质问题 .....	214
	参考文献 .....	214
<b>11</b>	<b>热泵系统的性能试验测试方法 .....</b>	<b>216</b>
11.1	国外空调用热泵技术标准介绍 .....	216
11.1.1	美国标准和规范 .....	216
11.1.2	欧洲标准和规范 .....	216
11.1.3	中国国家标准 .....	217
11.2	热泵机组性能工况和性能指标的规定 .....	217
11.2.1	我国《房间空气调节器》标准中的规定 .....	217
11.2.2	我国《多联式空调(热泵)机组》标准中的规定 .....	218
11.2.3	我国《风管送风式空调(热泵)机组》标准中的规定 .....	219
11.3	性能要求 .....	220
11.3.1	不同负荷工况时性能 .....	220
11.3.2	凝露、凝结水排除 .....	220
11.3.3	低温(冻结) .....	220
11.3.4	除霜 .....	220
11.3.5	压力损失 .....	220
11.3.6	能效比和性能系数 .....	221
11.3.7	噪声 .....	222
11.4	风量测定方法 .....	222
11.5	静压测定方法 .....	223
11.6	热工性能试验 .....	223
11.6.1	房间空调器的制冷量和热泵制热量的试验及计算方法 .....	223
11.6.2	组合式空调机组供冷量和供热量现场试验方法 .....	228
	参考文献 .....	230
	<b>符号说明 .....</b>	<b>231</b>
	<b>附录 .....</b>	<b>232</b>
附录 1	单位换算表 .....	232
附录 2	空调室外空气设计参数 .....	234
附录 3	R22 $\lg p-h$ 图 .....	235
附录 4	R123 $\lg p-h$ 图 .....	236
附录 5	R134a $\lg p-h$ 图 .....	237

附录 6	R407C $\lg p-h$ 图 .....	238
附录 7	R410A $\lg p-h$ 图 .....	239
附录 8	R290 $\lg p-h$ 图 .....	240
附录 9	R717 $\lg p-h$ 图 .....	241
附录 10	R744 $\lg p-h$ 图 .....	242

# 1 绪 论

## 1.1 热泵的起源及其发展历史

### 1.1.1 热泵的定义与制冷机

“热泵”(heat pumps)这一术语是借鉴“水泵”一词得来的。在自然界中,水从高处自发流向低处,水泵可将水从低处泵送到高处利用。同样,热量可自发从高温热源传向低温热源,而热泵可将低温热源的热量“泵送”(交换传递)到高温热源加以利用,所以热泵实质上是一种热量提升装置。我国《暖通空调术语标准》(GB 50155—92)对“热泵”的解释是“能实现蒸发器和冷凝器功能转换的制冷机”,《新国际制冷词典》(New International Dictionary of Refrigeration)对“热泵”的解释是“以冷凝器放出的热量来供热的制冷系统”。

从以上热泵的定义中可以看出,从工作原理和热力循环理论角度分析,热泵就是制冷机,不同之处主要有以下两点。

① 两者的应用目的不同。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),同时按照热力学第二定律必须消耗机械功(如电力驱动热泵消耗电能)。如果应用的目的是为了获得高温(制热工况),也就是着眼于从低温热源吸热,通过循环放热至高温部分,就是热泵。如果应用的目的是为了获得低温(制冷工况),也就是着眼于从低温热源吸热,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,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。相对于同一环境温度来说,热泵的工作温度区明显高于制冷机。

正是由于存在以上区别,在工程实践中,热泵与制冷机两者有许多共同性,也有许多特殊性。还要提出存在这样一种有趣的情况,即当一个装置同时实现制热与制冷功能时,即这种装置运行时高温热源(冷凝器)输出用于制热,而低温热源(蒸发器)吸热用于制冷,这种“一举两得”的同时供热供冷的联合装置既可称热泵也可称制冷机。

热泵技术是利用低温可再生能源的有效技术之一,也是解决暖通空调的能源与环境问题的有效措施之一。但发展热泵的道路还很艰巨,特别是如何用可再生能源替代常规矿物燃料能源是热泵技术发展的必然趋势。尽管近年来地源热泵、太阳能热泵、城市污水热泵等得到了迅速的发展,但有关系统集成技术研究、相关基础性研究和关键技术创新等尚待进一步加强,以使我国的热泵技术得到进一步科学的发展、推广与应用。

### 1.1.2 热泵技术的应用范围

热泵技术在世界各国有大量的应用方式和实例。例如:以热泵作为住宅的供暖(冷)机组;热泵用于大型建筑物或建筑群的供暖(冷);热泵在室内或室外露天游泳池中的应用;热泵用于余热(排风废热)回收与利用;采用热泵回收和应用制冷装置的冷凝废热利用;人工冰场和游泳池相结合的热泵系统;热泵技术用于木材和生物制品的干燥;热泵技术对工农业生产中低品位能量的回收和高效利用等。

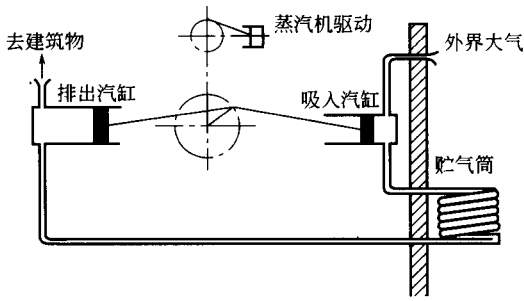


图 1-1 热泵初步设想示意图

### 1.1.3 热泵的起源及其发展历史

“热泵”这个名词最早是 20 世纪初由欧洲人提出的。但热泵的基础理论蒸汽压缩动力循环原理可追溯到 19 世纪早期法国物理学家卡诺 (S. Carnot)，他在 1824 年发表了关于卡诺循环的论文。1845 年，英国物理学家焦耳 (J. P. Joule) 完成了研究气体内能的焦耳气体自由膨胀实验，论证了改变气体压力能引起温度变化的原理。1852 年，英国物理学家汤姆森 (W. Thomson) [后改名为开尔文 (L. Kelvin) 勋爵] 首先提出了关于热泵的设想，如图 1-1 所示，当时称为热量放大器 (heat multiplier)。

在该装置中，室外空气在蒸汽机驱动下进入吸入汽缸，经膨胀降温后被排到置于室外作为换热器用的贮气筒中，在贮气筒中吸收外界热量并升温，然后进入排出汽缸被压缩至大气压力，此时空气的温度已高于环境温度，最后将高温空气送入需供暖的建筑物内。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像现代这样的热泵装置。

在 19 世纪 70 年代，应用这些原理的制冷设备的开发工作得到了迅速的发展。在开发制冷设备这一历史时期内，热泵的开发工作却落到了后面，这主要是因为热泵的开发工作主要取决于能源费用和能源有效利用率，同时也取决于各种可能利用其他加热器的使用情况等。当时取暖方式多样化，简单而价廉，因此在技术上对热泵的需求迫切性不大。

直到 20 世纪 20~30 年代，热泵才得到较快的发展。这是因为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求。1912 年瑞士苏黎世成功安装了一套以河水作为低位热源的热泵设备用于供暖，并以此申报专利，这就是早期的水源热泵系统，也是世界上第一个水源热泵系统。这一期间有代表性的是英国的霍尔丹 (Haldane) 于 1930 年在他的著作中报道 1927 年在苏格兰安装了一台可进行试验的家用热泵，用氨作工质，外界空气为热源，用于采暖及加热水，从运行的制冷装置测得不同输出温度下热泵的性能系数 (coefficient of performance, COP) 为逆向卡诺机理论效率的  $1/3 \sim 1/2$ 。当时霍尔丹已认识到可通过简单的切换用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和廉价的低谷电力、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，美国也开始对热泵进行了设计与应用，但能进行试验的装置很少。至 1931 年，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，供热量达 1050kW，制热系数达 2.5。这是大容量热泵的最早应用。

欧洲第一台较大的热泵装置是 1938~1939 年间在苏黎世投入运行的，它以河水作为低温热源，工质是 R12，采用离心式压缩机。这台热泵装置用来向市政厅供热，出力是 175kW，制热系数为 2，输出水温为  $60^{\circ}\text{C}$ ，并装有蓄热系统，在高峰负荷期间采用电加热作为辅助加热。此热泵装置在夏季也进行制冷运行。

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，但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。在物料的浓缩工艺中，只需将蒸发装置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，热泵在这种场合因为充分利用了废气中的余热而使其制热系数极高。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10000台蒸馏热泵为上百万的人提供饮用水。

热泵技术在20世纪40年代到50年代早期又获得迅速发展，到1943年大型热泵的数量已相当可观。40年代，美国也开始对热泵有了进一步的认识。1948年小型热泵的开发工作有了很大的进展，家用热泵和工业建筑用热泵大批投放市场。英国在50年代也生产了许多小型民用热泵。1950年左右，美、英两国开始了对使用地下盘管吸收地热作为热源的家用水泵的研究工作。至1950年，已有20个厂商及10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，使空调用热泵作为一种全年运行空调机组进入了空调商品市场。

热泵技术在20世纪50年代到60年代初（1952~1963）这10年中经历着迅速成长的阶段。由于热泵可以把制冷与采暖合用一套装置，在电力充足而电能价格又便宜的地区使用时运行费用甚低，用户对热泵产生了兴趣，使热泵进入了早期发展阶段。1957年美国决定在建造大批住房项目中用热泵采暖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，至60年代初在美国安装的热泵机组已近8万台。然而，由于过快的产品增长速度造成设备制造质量较差，设计安装水平低，维修及运行费过高，到1964年热泵可靠性的问题已成了一个十分严峻的问题，又因60年代电价持续下降，人们对电加热器的需求不断增加，使之成了热泵发展的主要竞争对手，限制了热泵的发展，热泵工业进入了10年的徘徊状态。

直至20世纪70年代中期，热泵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。70年代初期，人们广泛认识到矿物燃料在地球上是有限的，热泵以其回收低温废热、节约能源的特点，在对产品性能和可靠性进行改进后重新登上历史舞台，受到了人们的青睐。比如美国，热泵的年产量从1971年的8.2万套猛增至1976年的30万套，1977年再次跃升为50万套。至1988年，热泵式房间空调器年产量已达321万台。至1999年，包括热泵式的单元式热泵空调机年产量超过了1000万台。

在此期间，在全世界范围内热泵的应用总的发展趋势是不断扩大，日本、瑞典等国小型的家用水源热泵产量大幅提高，在英国、德国大型热泵装置与大型商业和公共建筑的热回收方案结合取得了一定成果。热泵技术进入了黄金时期，世界各国对热泵的研究工作都十分重视，诸如国际能源机构和欧洲共同体都制定了大型热泵发展计划，热泵新技术层出不穷，热泵的用途也在不断开拓，广泛应用于空调和工业领域，在节约能源和环境保护方面起着重大的作用。

我国热泵技术研究开发工作的起点和发展历程与国外相比有较大的差距。20世纪50年代，天津大学热能研究所开始着手开展热泵方面的研究。从60年代开始，热泵在我国工业上开始得到应用。1965年，上海冰箱厂研制成功我国第一台热泵型窗式空调机，制热量为3720W。同年，天津大学与天津冷气机厂研制成功我国第一台水冷式热泵空调机，即我国最早的水源热泵机组，其研制者是天津大学吕灿仁教授。此后，我国热泵的研究开发工作取得了较快的进展。到80年代以后，热泵技术的研究日益受到人们的重视，但热泵产品主要以空气源热泵空调器和中小型的商用空气源热泵机组为主。