

中国制冷空调工业协会专业技术丛书

水源·地源·水环热泵 空调技术及应用

主 编 蒋能照 刘道平
副主编 寿炜炜 姚国琦
王鹏英 沈莉华

世界有变，四十年领先不变

麦克维尔 世界热泵技术专家

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



McQuay[®]
Air Conditioning

中国制冷空调工业协会专业技术丛书

水源·地源·水环热泵 空调技术及应用

主 编 蒋能照 刘道平
副主编 寿炜炜 姚国琦
 王鹏英 沈莉华
主 审 董天禄 范存养



机械工业出版社

本书从中小型(户式/商用)水源·地源热泵和大型中央空调水环热泵两个角度,结合近年来国内外在此领域的最新技术成果,总结工程设计、施工安装和运行管理方面的实践经验。主要内容包括:热泵的形式与基本原理,自然热源及其特性,水源热泵机组,地源热泵系统与设计,空调原理及建筑物内空调系统设计,水环热泵系统与设计,水源·地源·水环热泵空调系统的施工安装与运行调试,国内外工程应用实例,国内外水源·地源·水环热泵空调生产厂家产品介绍,以及相关标准的简介。

本书内容丰富,深入浅出、图文并茂,适合于从事热泵产品、热泵空调系统工程设计、施工安装及运行管理人员阅读和使用;也可作为有关技术培训教材和教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

水源·地源·水环热泵空调技术及应用/蒋能照,刘道平主编. —北京:机械工业出版社,2007.3

(中国制冷空调工业协会专业技术丛书)

ISBN 978-7-111-20891-4

I. 水… II. ①蒋…②刘… III. 水源—热泵—空气调节系统
IV. TU831.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 021151 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:蒋有彩 版式设计:冉晓华 责任校对:刘志文

封面设计:姚毅 责任印制:洪汉军

三河市宏达印刷有限公司印刷

2007 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·30.5 印张·2 插页·753 千字

0001—4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-20891-4

定价:52.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379734

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着国民经济的增长、城市建设的发展、人民生活水平的提高及房地产业的升温,我国空调业已得到了空前的发展。空调已成为季节性能源消耗的大户,并成为建筑节能的关注问题。大力发展新能源与可再生能源,已成为我国 21 世纪发展国民经济刻不容缓的战略目标。要实现经济与能源的协调发展,迫切需要认真考虑空调的节能问题,积极推广和使用高效节能、环保型空调产品已成为制冷空调行业发展的方向。

热泵技术是应用低位可再生能源的重要技术措施之一。热泵系统是利用低温热源进行供热、制冷的新型能源利用方式。与使用煤、气、油等常规能源供热方式相比,它具有清洁、高效、节能的特点。因地制宜发展热泵系统,有利于优化能源结构,促进多种资源的有效利用,提高能源利用效率。

目前常规使用的热泵系统多为空气源热泵,它受环境温度的影响很大。夏季环境温度高,不利于冷凝器的散热;冬季环境温度低,不利于蒸发器从环境得热,尤其是冬季融霜令人烦恼。水源·地源·水环热泵技术,充分利用地球上的自然资源[地源(土壤)、地下(表)水源(含地下水、海洋、河流、湖泊、地热等),再生水源(含污水、工业废水等)]所具有的热容量大、温度比较恒定的特点,实现与热泵系统的结合,可以实现机组的稳定运行,使其不受外界气候变化的影响,可以产生良好的节能效益,且可免除融霜的烦恼,是一项值得广泛推广的节能技术。

为了促进水源·地源·水环热泵技术在我国的应用水平的提高,规范工程设计与安装施工,促进行业技术进步和经济的持续发展,中国制冷空调工业协会组织有关专家、教授和专业技术人员编写《水源·地源·水环热泵空调技术及应用》一书。本书由上海理工大学蒋能照教授、刘道平教授担任主编,由上海建筑设计院副总工程师寿炜炜教授级高工、上海中孚制冷空调工程有限公司姚国琦总经理、上海工程技术大学王鹏英副教授、美意(中国)有限公司应用部主管沈莉华工程师担任副主编,并由上海市制冷学会《制冷技术》杂志主编董天禄教授级高工、同济大学范存养教授任主审。《水源·地源·水环热泵空调技术及应用》一书是中国制冷空调工业协会组织编写的专业技术丛书之一。

《水源·地源·水环热泵空调技术及应用》一书,从中小型(户式/商用)水源·地源热泵和大型中央空调水环热泵两个角度,结合近年来国内外在此领域的最新技术成果,总结工程设计、施工安装和运行管理方面的实践经验,详细阐述和介绍基本技术原理、设备、系统设计、施工安装、运行调试等多方面内容,并提供一些最新的技术资料。主要内容包括:热泵的形式与基本原理,自然热源及其特性,水源热泵机组,地源热泵系统与设备,空调原理及建筑物内空调系统设计,水环热泵系统与设备,水源·地源·水环热泵空调系统的施工安装与运行调试,国内外工程应用实例,国内外水源·地源·水环热泵空调生产厂家产品介绍,以及相关的标准简介等。

本书内容丰富，深入浅出，图文并茂，是一本专业应用性很强的专业技术书籍。本书适合于从事热泵产品设计、制造技术人员；热泵空调系统工程设计、施工安装及运行管理人员阅读和使用；也可作为有关技术培训的教材和教学参考书。

全书共11章，分工编写情况如下：第1章蒋能照、刘道平，第2章武卫东、蒋能照，第3章刘妮、刘颖、刘道平，第4章沈莉华、谢应明、刘道平，第5章王鹏英、沈莉华，第6章沈莉华、孙焯、刘道平，第7章刘业风、王鹏英，第8章沈健、郁松涛、刘道平（居学文、左明耀、甄华斌、孙焯等参与了部分工作），第9章寿炜炜等，第10章姚国琦，第11章姚晓东、孙焯。附录A陈蓓蓓，附录B、C、D、E王鹏英，附录F蒋能照。全书由刘道平、蒋能照统稿。

在本书的编写过程中，承蒙上海中孚制冷空调工程有限公司、上海理工大学、上海建筑设计院、上海工程技术大学、美意（上海）空调设备有限公司、上海昊能实业湖北风神净化空调工程公司通力合作，并得到了深圳麦克维尔空调有限公司、清华同方人工环境有限公司、广州中字冷气科技发展有限公司、WFI（中国）代表处、埃美圣龙（宁波）机械有限公司、易达热泵（深圳）有限公司、四川希望深蓝空调制造有限公司、开利空调销售服务（上海）有限公司、特灵空调系统（江苏）有限公司、克莱门特捷联制冷设备（上海）有限公司、广东志高空调有限公司、济源市贝迪地能中央空调设备有限公司、劳特斯空调（江苏）有限公司、广东美的商用空调设备有限公司、山东宏力空调设备有限公司、湖南凌天科技有限公司、宁波惠康集团有限公司、际高集团有限公司、南京五洲制冷集团有限公司、绍兴市恒源空调设备有限公司、天津中冷暖通洁净工程技术有限公司、江阴精亚空调工程有限公司等20多家国内外著名生产厂商和工程公司的积极参与，工程应用实例征集工作也得到了广大工程技术人员的大力支持与配合。本书在编写过程中得到中国制冷空调工业协会杨炎如常务副理事长、张朝晖秘书长、彭伯彦技术部主任、陈敬良技术部副主任的关心和支持，并得到上海安装工程的大力支持。在此，对为本书的编写提供帮助，提供资料、信息，并付出辛勤劳动的全体人员表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中错漏之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者
2007年1月

本书常用符号、名称及单位

英文字母含义

<i>A</i>	面积	m^2	<i>a</i>	热扩散率	m^2/s
COP (EER)	性能系数		<i>c</i>	比热容	$kJ/(kg \cdot K)$
			c_v	比定容热容	$kJ/(kg \cdot K)$
			c_p	比定压热容	$kJ/(kg \cdot K)$
<i>D</i>	直径	m	<i>d</i>	含湿量	$kg/kg_{(干空气)}$
			<i>g</i>	重力加速度	m/s^2
<i>H</i>	高度、深度	m	<i>h</i>	比焓	kJ/kg
<i>L</i>	长度	m	<i>m</i>	质量	kg
<i>K</i>	传热系数	$W/(m^2 \cdot K)$			
<i>P</i>	功率	W, kW	<i>p</i>	压力	Pa
<i>Q</i>	热量, 热负荷	kJ	q_l	单位管长换热量	W/m
<i>R</i>	热阻	$m \cdot K/W$	q_m	质量流量	kg/h
			q_v	体积流量	m^3/h
<i>T</i>	热力学温度	K	<i>t</i>	摄氏温度	$^{\circ}C$
pH	pH 值		<i>w</i>	单位功	W/kg
<i>V</i>	体积	m^3	<i>v</i>	比体积	m^3/kg
			<i>v</i>	速度	m/s

希腊字母含义

ρ	密度	kg/m^3	ϕ	部分负荷系数
μ	粘度	$Pa \cdot s$	η	效率
λ	热导率	$W/(m \cdot K)$	Φ	同时使用系数
ω	含水量	$\%$	ψ	容积比率
φ	相对湿度		ε	热湿比
ξ	热力系数			

下标含义

0	开始的	h	加热	o	外, 有机物
1	进	H	高	p	管道
2	出	i	内	q	蒸汽
a	空气	l	单位长度	s	泥土
b	当地的	L	低	sb	过冷
c	冷却、冷 凝、制冷	m	平均	t	理论的
d	干	max	最大	w	水
e	蒸发	min	最小	y	沿程的

目 录

前言

本书常用符号、名称及单位

第 1 章 绪论..... 1

1.1 热泵的节能与环境效益 1

1.2 热泵的分类与基本形式 2

1.2.1 分类 2

1.2.2 热泵形式及其热源特点 3

1.3 水源热泵、地源热泵和水环热泵 的含义 5

1.3.1 国家标准 5

1.3.2 ASHRAE 手册中使用的有关名词 6

1.3.3 ISO 及 ARI 中有关标准 6

1.3.4 本书的有关术语概念 7

1.4 热泵的发展历史 9

1.4.1 现代制冷的发展简史 9

1.4.2 热泵的发展历史 9

1.4.3 地源热泵发展历史 12

1.5 其他水源热泵技术的发展 现状 20

1.5.1 海水源热泵 20

1.5.2 污水源热泵 21

1.6 我国热泵空调技术未来发展 趋势 23

1.6.1 节能技术的发展需求 23

1.6.2 政府的措施和导向 24

1.6.3 区域发展优势 25

1.6.4 发展所面临的问题 26

1.7 国外学术机构 26

第 2 章 热泵基本原理 28

2.1 理想的热泵循环 28

2.1.1 逆卡诺循环 28

2.1.2 洛伦兹 (Lorenz) 循环 28

2.1.3 机械压缩式热泵循环 29

2.1.4 其他热泵 37

2.2 热泵的热力经济性指标 37

2.2.1 热泵的性能系数 37

2.2.2 制热季节性能系数 38

第 3 章 热泵的热源 40

3.1 热源的要求和种类 40

3.2 自然热源 41

3.2.1 水源 41

3.2.2 土壤 49

3.2.3 太阳辐射 57

3.3 排热热源 63

3.3.1 建筑物内部热源 63

3.3.2 生活废水与工业废水 64

3.3.3 垃圾热量 65

第 4 章 水源热泵机组 66

4.1 机组组成 66

4.1.1 基本组成 66

4.1.2 工作原理 67

4.2 主要结构形式 67

4.2.1 冷热风型水源热泵机组 67

4.2.2 冷热水型水源热泵机组 70

4.3 水源热泵机组性能 74

4.3.1 名义工况和使用工况范围 74

4.3.2 水源热泵机组的变工况性能 74

4.4 水源热泵机组主要部件 77

4.4.1 压缩机 77

4.4.2 换热器 84

4.4.3 节流与控制元件 87

4.4.4 其他部件 90

4.5 制冷剂种类及其性质 92

4.5.1 CFCs 制冷剂的禁用 92

4.5.2 制冷剂的发展 93

4.5.3 常用工质介绍 94

第5章 地源热泵系统与设计	98	6.3.1 水环热泵空调系统的分区设计	151
5.1 地源热泵系统选择	98	6.3.2 水环热泵空调系统的冷热负荷计算	152
5.1.1 概述	98	6.3.3 水环热泵空调系统的设备选择与布置	153
5.1.2 工程勘察	100	6.3.4 水环热泵空调系统的风系统设计	156
5.1.3 建筑物冷、热负荷计算	102	6.3.5 水环热泵空调系统的噪声控制设计	157
5.1.4 地源热泵系统类型选择	102	6.3.6 水环热泵空调系统的水系统设计	159
5.1.5 分区水源热泵机组选择	104	6.4 水环热泵空调系统的运行与控制	161
5.1.6 确定供冷设计工况下循环水最大吸热量	104	6.4.1 水源热泵机组的控制	161
5.1.7 确定供热设计工况下循环水最大放热量	106	6.4.2 水系统环路的控制	162
5.2 地埋管地源热泵系统设计	108	第7章 建筑物内空调系统设计	164
5.2.1 地埋管换热器埋管形式选择	109	7.1 空气调节基础知识	164
5.2.2 地埋管换热器环路形式选择	110	7.1.1 湿空气的状态参数	164
5.2.3 地埋管换热器埋管选择	112	7.1.2 湿空气的焓湿图	166
5.2.4 地埋管换热器设计	114	7.1.3 焓湿图的应用	166
5.3 地下水地源热泵系统设计	120	7.2 空调系统冷(热)、湿负荷计算及送风量的确定	169
5.3.1 地下水地源热泵系统分类	121	7.2.1 室外空气计算参数	169
5.3.2 开式环路地下水系统设计	121	7.2.2 室内空气计算参数	170
5.3.3 闭式环路地下水系统设计	126	7.2.3 空调房间冷(热)、湿负荷的计算	170
5.3.4 地下水的回灌	128	7.2.4 空调总负荷的概算指标	172
5.4 地表水地源热泵系统设计	130	7.2.5 空调房间送风量确定	173
5.5 地源热泵系统的运行管理	131	7.2.6 空调房间新风量确定及新风负荷计算	174
5.6 地源热泵系统的维护	133	7.2.7 空调建筑物负荷计算	176
第6章 水环热泵空调系统与设计	134	7.2.8 空调系统负荷计算	176
6.1 水环热泵空调系统的原理	134	7.3 主机方案选择	176
6.1.1 水环热泵空调系统的节能原理	134	7.3.1 采用水-水热泵机组	176
6.1.2 水环热泵空调系统的原理与组成	135	7.3.2 采用水-空气热泵机组	177
6.1.3 水环热泵空调系统的运行方式	135	7.4 空气处理方案确定及水源热泵机组选择	177
6.1.4 水环热泵空调系统的优点和适用性	136	7.4.1 空气处理方案确定	177
6.2 水环热泵空调系统的辅助设备与选型	138	7.4.2 水源热泵机组选择	177
6.2.1 排热设备及其选型	138	7.5 室内风系统设计	179
6.2.2 换热设备及其选型	141		
6.2.3 加热设备及其选型	143		
6.2.4 水泵与管路系统附件	147		
6.3 水环热泵空调系统的设计	151		

7.5.1	风管设计	179	9.3	青岛国际帆船中心媒体馆海水源热泵空调工程(奥运项目)	240
7.5.2	室内消声减振措施	180	9.4	宁波市鄞州银行大楼地源热泵中央空调工程	244
7.5.3	新风系统设计	180	9.5	宁波银凤度假村浅层地下水源热泵空调工程	246
7.5.4	排风系统设计	182	9.6	北京牛顿大厦井水源热泵空调工程	249
7.6	水系统设计	184	9.7	深圳某酒店水环热泵空调工程	252
7.6.1	水管回路	184	9.8	延庆县法院办公楼污水源热泵空调工程	254
7.6.2	水系统分类与选择	184	9.9	北京蜂鸟社区井水源热泵空调工程	260
7.6.3	水系统的承压与分区	189	9.10	湖南湘潭市中心区地表人工湖水源热泵区域供冷供热工程	263
7.6.4	水系统管路设计	189	9.11	慈溪某公寓地源热泵空调工程	267
7.6.5	水系统设备与附件	192	9.12	天津北辰区新科技园综合办公楼地源热泵空调工程	270
7.7	辅助散热装置	194	9.13	南京青龙山生态园林湖水源热泵空调工程	273
7.8	系统控制措施	196	9.14	武汉清江花园地源热泵空调工程	275
第8章	安装、施工与调试	197	9.15	吴江宾馆地源热泵空调工程	278
8.1	图样会审及施工方案编制	197	9.16	武汉香榭里花园空调工程	281
8.1.1	图样会审	197	9.17	天津奥林匹克体育中心体育场水源热泵空调工程	285
8.1.2	施工方案编制	197	9.18	东江明珠大酒店江水源热泵空调工程	287
8.2	热泵机组的安装与调试	199	9.19	南京朗诗·国际街区地源热泵空调工程	290
8.2.1	热泵机组的卸货、运输、验收与存放	199	9.20	沈阳世界园艺博览会玫瑰园地源热泵空调工程	293
8.2.2	热泵机组安装	200	9.21	虹山半岛66号别墅地源热泵空调工程	297
8.2.3	系统调试	204	9.22	济源市信尧购物广场井	
8.3	水源、地源换热器的安装、施工和系统调试	207			
8.3.1	地下水换热器的安装、施工和系统调试	207			
8.3.2	地表水换热器的安装、施工和系统调试	211			
8.3.3	竖直地埋管换热器的安装、施工和系统调试	215			
8.3.4	水平地埋管换热器的安装、施工和系统调试	223			
8.4	水环热泵系统的安装、施工和系统调试	224			
8.4.1	水环热泵系统的安装与施工	224			
8.4.2	水环热泵系统的调试	231			
第9章	工程应用实例	233			
9.1	吴江盛虹化纤办公楼地源热泵空调工程	233			
9.2	开行大厦水环热泵空调工程	237			

水源热泵空调工程	298	10.10 广东志高空调有限公司	373
9.23 中福世福汇大酒店水环热泵 空调工程	300	10.11 济源市贝迪地能中央空调设备 有限公司	377
9.24 浙江省嵊州市人民医院外科大 楼水源热泵空调工程	304	10.12 劳特斯空调(江苏)有限 公司	380
9.25 郑州五龙口污水处理厂城市中 水源热泵空调工程	307	10.13 广东美的商用空调设备有限 公司	387
9.26 天津海河楼商业区水源热泵 系统	308	10.14 山东宏力空调设备有限 公司	391
9.27 东莞三正半山大酒店—地表水 (湖水)地源热泵系统	310	10.15 湖南凌天科技有限公司	399
9.28 北京九华山庄二期地源 热泵系统	311	10.16 南京五洲制冷集团有限 公司	408
9.29 重庆市大渡口区政府办公楼二期 水环热泵空调工程	312	10.17 绍兴市恒源空调设备有限 公司	410
9.30 无锡高新农林科技园温室地源 热泵空调工程	315	10.18 开利空调销售服务(上海) 有限公司	412
第 10 章 国内外水源·地源·水环热泵机组 主要生产厂商产品介绍	319	10.19 江阴精亚空调工程有限 公司	415
10.1 深圳麦克维尔空调有限 公司	319	第 11 章 国内外相关标准与规范 简介	418
10.2 美意(上海)空调设备有限 公司	325	11.1 国家标准《水源热泵机组》 (GB/T 19409—2003)	418
10.3 清华同方人工环境有限 公司	343	11.1.1 制定《水源热泵机组》国家标 准的背景	418
10.4 广州中宇冷气科技发展有限 公司	351	11.1.2 《水源热泵机组》的主要 内容	419
10.5 WFI 沃富国际有限公司中国工 厂——埃美圣龙(宁波)机械 有限公司	353	11.1.3 国家标准 GB/T 18837—2002 与 ISO 13256—1、ARI 210/240、360/340 的某些区别	429
10.6 易达热泵(深圳)有限 公司	359	11.2 国家标准《地源热泵系统工程 技术规范》 (GB50366—2005)	430
10.7 四川希望深蓝空调制造有限 公司	362	11.2.1 制定《规范》的背景	430
10.8 特灵空调系统(江苏)有限 公司	366	11.2.2 《规范》的主要内容	431
10.9 克莱门特捷联制冷设备(上 海)有限公司	368	11.2.3 《规范》的强制性条文	438
		附录	439
		附录 A 国内外有关生产户式中央空 调厂商介绍	439

附录 B	地埋管外径及壁厚	460	醇的密度和粘度	465
附录 C	聚乙烯管公称压力、规格尺寸及单位管长摩擦阻力	461	附录 F	R22、R134a、R407C、R404A
附录 D	阀门和管件当量长度	465	压焓图	467
附录 E	水、质量分数为 20% 氯化钙和质量分数为 20% 丙烯乙二		参考文献	471

第 1 章 绪 论

随着经济发展和人民生活水平的提高,公共建筑和住宅的供热及空调已成为普遍的需求,由此带来的能源供应紧张已经成为当今世界各国面临的一个共性问题。空调系统需要消耗大量的电能及燃料,在发达国家中,供热和空调的能耗可占到社会总能耗的 25%~30% (美国,日本),有的甚至达到消耗总能量的 45% (瑞典),而且空调消耗的能量持续以 4%~5% 的速度增长。

在我国,家用空调器拥有量已经超过 1 亿台,同时每年以 20% 的速度增长,商业中央空调和家用中央空调变得更为普及。空调消耗的电能占城市全部电力消耗的比例逐年上升,已经成为电网负荷增长过快的重要因素。我国的能源结构主要依靠矿物燃料,特别是煤炭。矿物燃料燃烧产生的大量污染物,包括大量 SO_2 、 NO_x 等有害气体,以及 CO_2 等温室效应气体。因此,在我国经济持续快速发展的现在,空调的普及所带来的节能与环境问题,已经成为我国经济发展中的一个重要议题。

我国的供热已经历了一家一户的小煤炉到燃煤锅炉的转变,现在又进一步禁止在城镇建设中小型燃煤锅炉房,体现了政府对保护大气环境的高度重视。因此,除了集中供热的形式以外,急需发展其他的替代供热方式。热泵就是能有效节省能源、减少大气污染和 CO_2 排放的供热和空调新技术。

1.1 热泵的节能与环境效益

“热泵”(Heat Pump)术语是借鉴水泵一词而来。水泵是消耗一定的机械能,将水从低处泵送到高处的设备;而热泵则是消耗一定的机械能,将低温位热能“泵送”到高温位来供应热量需求的设备。从热力学或工作原理上说,在本质上热泵就是制冷机,只是在系统运行时,热泵利用冷凝器放出的热量来制热,实现为采暖、空调和生活热水提供热量。在我国(GB50115—1992)《暖通空调术语标准》中,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”。

建筑的空调系统一般应满足冬季的供热和夏季制冷两种相反的要求。传统的空调系统通常需分别设置冷源(制冷机)和热源(锅炉)。建筑空调系统由于必须有冷源(制冷机),如果让它在冬季以热泵的模式运行,则可以省去锅炉和锅炉房,不但节省了初投资,而且全年仅采用电力这种清洁能源,大大减轻了供暖造成的大气污染问题。空调用热泵往往兼有制热和制冷功能,随着使用场合及季节的变化,可通过控制手段来实现这两种功能的转换。采用热泵技术的中央空调是未来空调的发展趋势,可以大大降低一次能源的消耗。为了比较在进行采暖时能源的利用率,表 1-1 列举了不同热量提供方式的性能系数。由此可知,在采暖方面,热泵是一种有效的节能手段,这也是为什么热泵技术和产品得到广泛普及和应用的原因。

表 1-1 不同热量提供方式的能量利用率

热量提供方式	燃油炉	燃气炉	电取暖	热泵
性能系数	0.70~0.90	0.80~0.95	1.0	>2.8

在自然界和工业生产中，存在大量的低温位热源，储藏于空气、土壤、水中，以及工业废气、废水中，利用热泵就可以回收这些低温位热量，产生高温位的热量来供应生产和生活之用。应该指出，由热泵从这些热源吸收的热量属于可再生的能源。

目前大量使用的热泵主要是空气源热泵。它是利用环境的空气来作为吸热和排热的热源。环境大气温度随季节、昼夜变化比较大，这会影晌热泵机组的运行。在夏季，大气温度高时，迫切需要进行制冷空调，但大气温度的升高影响着冷凝器向大气环境的排热效果，特殊情况下，制冷机组甚至都无法起动。在冬季，环境温度低时，人们需要采暖，但冬季环境温度低不利于蒸发器从环境得热，且会带来融霜的烦恼。土壤、地下水、地表水的温度相比空气随季节和昼夜的变化要少得多，具有温度相对较为稳定的特征。比如夏季水体温度比环境空气温度低，所以制冷的冷凝温度降低，使得冷却效果好于风冷式和冷却塔式；冬季水体温度比环境空气温度高，热泵循环的蒸发温度提高，能效比也提高，不存在空气源热泵的冬季除霜等难点问题。因此，利用土壤、地下水、地表水来作为热源和热汇，具有十分优越的特性。

另外，热泵的应用也可以带来良好的环境效益，在提高能源利用率的同时，减少对电能的需求，进而为减少温室气体 CO₂ 排放发挥作用。根据美国环保署的估计，设计安装良好的地源热泵中央空调系统，平均可以节约 30%~40% 的供热制冷空调的运行费用，而污染物排放最多可减少 70% 以上。虽然也采用制冷剂，但比常规空调装置减少 25% 的充灌量，属自含式系统，密封性良好，制冷剂泄漏机率为减少，对环境的潜在破坏率大大降低。如果结合其他节能环保措施，效果会更加明显。

1.2 热泵的分类与基本形式

根据热泵的工作原理、热源、驱动方式、用途、供热介质等组合形式，实现热泵的装置有多种类型。为了明确各种热泵的概念，人们采取了很多方法来进行热泵的分类。

1.2.1 分类

热泵的分类有多种形式，某种意义上和制冷装置的分类相同。具体情况见表 1-2。

表 1-2 热泵的分类

分类方式	热泵类型
按工作原理	蒸气压缩式、气体压缩式、蒸汽喷射式、吸收式、热电式、化学式热泵
按利用热源	空气、地表水（江河、湖泊、海水等）、地下水、城市自来水、土壤、太阳能、废热（水、气）热泵
按用途	住宅用、商业及农业用、工业用热泵
按供热温度	低温热泵，供热温度 < 100℃；高温热泵，供热温度 > 100℃
按驱动方式	电动机驱动、热驱动、发动机驱动热泵
按功能	单纯制热、交替制冷与制热、同时制冷与制热热泵
按压缩机	活塞式、涡旋式、滚动转子式、螺杆式、离心式热泵
按安装形式	单元式热泵机组、分体式热泵机组、现场安装式热泵机组

1.2.2 热泵形式及其热源特点

1. 热泵基本形式

在实际应用中,根据热泵系统换热设备中进行热量传递的载能介质(即系统的室外侧和室内侧使用的载能介质),可以将热泵设备归纳为四种类型。

(1) 空气-空气热泵 在这类热泵中,热源(制冷运行时为冷源或热汇)和用作供热(冷)的介质均为空气。这也是最普通的热泵形式,特别适用于由工厂制造并组装的单元式热泵,它已经广泛地用于住宅和商业之中。该种装置可通过电动和手动操作的换向阀来进行内部切换,以使被调空间获得热量或冷量。系统中,一个换热盘管作为蒸发器,而另一个作为冷凝器。在制热循环时,被调的空气流过冷凝器而室外空气流过蒸发器。工质换向后则成了制冷循环,被调空气流过蒸发器而室外空气流过冷凝器。

(2) 空气-水热泵 这也是热泵型冷水机组的常见形式。它与空气-空气热泵的区别,在于供热(冷)侧采用热泵工质-水换热器。冬季按制热循环运行,供热水进行采暖;夏季按制冷循环运行,供冷水进行空调。制热与制冷循环的切换通过换向阀改变热泵工质的流向来实现。

(3) 水-空气热泵 这类热泵热源为水(制冷运行时为冷源或热汇),用作供热(冷)的介质为空气。

(4) 水-水热泵 无论是制热还是制冷运行时,均以水作为换热或供热(冷)的介质。一般可用切换热泵工质回路来实现制热或制冷,有时更方便的是用水回路中的三通阀来完成切换。如果水质较好,可允许水源水直接进入蒸发器(制冷时为冷凝器)。在某些特殊场合,为了避免污染,常采用中间换热器来实现水源水与进行过水处理的封闭冷水系统之间的热交换。

2. 水-空气和水-水热泵

水-空气和水-水热泵是本书所述水源热泵机组的主要方式。依据室外资源情况,又可分为下列类型:

(1) 地下水热泵 用地下井水作为热源(或冷源)。

(2) 地表水热泵 利用地表水,如湖、池、河作为热(冷)源。

在上述两类系统中,既可将热源水直接循环至热泵中,也可利用一个封闭回路中的中间流体进行间接换热。

(3) 土壤源热泵 也称为土壤源耦合式热泵,它利用大地的土壤作为热源或冷源。可以采用将水或防冻溶液直接泵送至埋入大地中的水平、垂直或盘形管土壤换热器中循环,通过水冷换热器实现水与热泵工质的热量交换。土壤换热器的热交换效果,与砂土类型、含水量、成分、密度,以及是否均匀地紧贴换热面有关。管子材料和当地砂土及地下水的腐蚀作用,会影响土壤换热器的传热效果和使用寿命。

(4) 内部热源热泵 这种热泵既可直接利用现代建筑中产生的内部热,也可利用蓄热。

(5) 太阳能辅助热泵 依靠太阳能集热器集热作为热源。

(6) 废水源热泵 利用卫生废热或洗衣废热作为热源。废水在过滤后能直接引入热泵蒸发器中,或取自储存容器中。在蒸发器和废热源之间也可采用中间回路来传热。

3. 蒸汽压缩循环热泵形式

闭式蒸汽压缩循环热泵形式见表 1-3。

表 1-3 闭式蒸汽压缩循环热泵形式

热泵形式	热源/热汇	供热(冷)介质	热力循环	简图		
				制热	制冷	制热和制冷
空气-空气热泵	空气	空气	热泵工质换向			
空气-水热泵	空气	水	热泵工质换向			
水-空气热泵	水	空气	热泵工质换向			
水-水热泵	水	水	水换向			
土壤源热泵	土壤换热器 土壤热源	空气	热泵工质换向			
土壤源热泵	直接膨胀式 土壤热源	空气	热泵工质换向			

4. 热泵热源（冷源）的特点

在上述热泵中使用的热源（冷源）具有不同的特点，见表 1-4。另外，在现实的应用中，还存在地源和地热源的差别，这种差别见表 1-5。

表 1-4 热泵热源（冷源）的特点

热（冷）源	特征	优点	缺点	评述
室外空气	环境空气	1) 无限制可用 2) 投资低	1) 冬季温度低，低性能系数 2) 需要辅助加热 3) 无储存效应 4) 噪声污染	
地源	浅层土壤 垂直采集器 水平采集器	1) 潜在的无限制可用 2) 温度相对恒定，性能系数高 3) 有储存效应 4) 仅需要小量的土壤面积	1) 相对投资高 2) 出力依赖于泥土的热物性和收集器面积 3) 受适用于收集器设置的土壤面积所限制 4) 受钻井投资限制 5) 需要授权	一般采用闭式回路，可以垂直和水平布置 土壤的热量储存可以由太阳能集热器或夏季的排热再生
地表水	池塘和河流 海洋 废水	1) 具有适合循环和流动的水温 2) 如果在用户附近可无限使用	1) 冬季死水温度低 2) 需要得到水资源部门的许可 3) 水需要过滤	

表 1-5 地源和地热源的差别

地热源	地源
热量来自地球深处 只有在几个地方可以使用 要求非常深的钻井（上千米）	在地球表面存在的热量，来自太阳照射 到处可以使用 使用沟壕系统（1~2m 深）或浅井（最多 150m）

1.3 水源热泵、地源热泵和水环热泵的含义

为了明确本书所提及的水源、地源、水环热泵概念，参照国外标准和国标 GB/T 19409—2003《水源热泵机组》的内容，对此进行说明。

1.3.1 国家标准

GB/T 19409—2003《水源热泵机组》第 3.1 节中，对水源热泵机组的定义是：一种采用循环流动于共用管路中的水，水井、湖泊或河流中抽取的水，或在地下管道中循环流动的水为冷（热）源，制取冷（热）风或冷（热）水的设备；包括一个使用侧换热设备、压缩机、热源侧换热设备，具有单制冷或制冷和制热功能。

1. 水源热泵机组按使用侧换热设备的形式分

(1) 冷热风型热泵水源机组（water-to-air heat pump） 使用侧换热设备为带送风设备的室内空气调节盘管的机组。

(2) 冷热水型水源热泵机组（water-to-water heat pump） 使用侧换热设备为制冷剂-水

换热器的机组。

2. 按冷(热)源类型分

(1) 水环式水源热泵机组 (water-loop heat pump) 使用在共用管路循环流动的水为冷(热)源的机组。

(2) 地下水式水源热泵机组 (ground-water heat pump) 使用井水、湖泊或河流中抽取的水为冷(热)源的机组。

(3) 地下环路式水源热泵机组 (ground-loop heat pump) 使用地下盘中循环流动的水为冷(热)源的机组。

1.3.2 ASHRAE 手册中使用的有关名词

在 2004 年出版的《ASHRAE Handbook: HVAC Systems and Equipment》第 45.10 页中,对水源热泵 (Water-Source Heat Pump) 作出了如下定义:它是指可逆向循环的、以水为热源(制热时)和热汇(制冷时)的单元式热泵机组。作为热源的水,可以是闭式水环、井水、湖水或河流。水源热泵可用于以下几种系统中:

- 1) 水环热泵系统 (Water-loop heat pump, WLHP)。
- 2) 地下水热泵系统 (Ground water heat pump, GLHP)。
- 3) 闭环地表水热泵系统 (Closed-loop surface-water heat pump)。
- 4) 地表水热泵系统 (Surface-water heat pump, SWHT)。
- 5) 土壤源耦合式热泵系统 (Ground-coupled heat pump, GCHP)。

在 2003 年出版的《ASHRAE Handbook Applications (SI)》的第 32 章中,对地源热泵作出了如下定义:地源热泵 (Ground-source heat pump, GSHP) 是一种使用土壤、地下水、地表水作为热源和热汇的热泵系统。它可分为三大类:

- 1) 土壤源耦合式热泵系统 (Ground-coupled heat pump systems), 也可称闭环地源热泵 (Closed-loop ground-source heat pump)。
- 2) 地下水热泵系统 (Groundwater heat pump systems)。
- 3) 地表水热泵系统 (Surface water heat pumps)。

在概念上,地源热泵是一种系统,它是与水环热泵系统并列的,但在有些文章中,往往省略掉“系统”二字。

1.3.3 ISO 及 ARI 中有关标准

ARI 1998 年出版了三个相关标准:①ARI 320—1998 Water-Source Heat Pumps,按英文可直译为水源热泵,其内容与国标中水环式水源热泵机组相当;②ARI 325—1998 Ground Water-Source Heat Pumps,按英文可译为地源水式水源热泵,其内容与国标中地下水式水源热泵相近;③ARI 330—1998 Ground Source Closed-Loop Heat Pumps,按英文可译为地源闭环热泵,其内容与国标中地下环路式水源热泵机组相当。

从 2000 年起,ARI 开始采用 1998 年出版的 ISO 标准 ISO 13256—1,代替 ARI 320、325、330。ISO 13256—1 标准的名称为《Water-Source Heat Pump-Testing and Rating for Performance, Part 1》(水源热泵机组——性能试验和测定 第 1 部分)。该标准中提及的水源热泵机组可用于以下三种系统: