

水环热泵空调 系统设计

第二版

姚 杨 姜益强 马最良 等编著

XITONG SHEJI



化学工业出版社

水环热泵空调 系统设计

第二版

姚 杨 姜益强 马最亮 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

第一版前言

水环热泵空调系统在 20 世纪 60 年代出现在美国的加利福尼亚州，故也称为加利福尼亚系统。1955 年该技术申请专利，从而很快传遍美国并早已商品化。进入 70 年代后，在日本这项技术的推广应用也很快：东芝、三菱电机、PMAC 公司均有水环热泵产品出售；在东京、名古屋、横滨等城市，70 年代初就有很多采用水环热泵空调系统的工程实例。

20 世纪 80 年代初，我国在一些外商投资的建筑中采用水环热泵空调系统，原因在于这些工程具有下列特点：水环热泵空调系统具有回收建筑物内余热的特有功能；不像传统锅炉会对环境产生污染；省掉或减小常规空调系统的冷热源设备和机房；便于分户计量和计费；系统的灵活性好；便于安装、管理等。因此，20 世纪 90 年代水环热泵空调系统便在我国得到较广泛应用。据统计，1997 年国内采用水环热泵空调系统的工程共有 52 项，到 1999 年全国约有 100 个项目，约 2 万台水/空气热泵机组在运行。目前不仅在上海、北京、天津、广州、深圳等大城市的一些工程采用，而且佛山、绍兴、惠州、泉州等中小城市也开始采用水环热泵空调系统。水环热泵空调系统作为一种典型的节能型空调系统，将会在空调整能领域获得广泛的应用和发展。它将是合理用能的典范，其节能效益和环保效益日益显著，在我国将会有广阔的应用前景。

尽管水环热泵空调系统在我国的应用日益广泛，但我国的发展和应用情况与国外相比，仍存在一定差距。例如，实际工程设计中往往忽略该系统运行工况的复杂性，忽略系统运行能耗的影响，这将会使系统运行的节能效果得不到可靠保证。国内现行水环热泵空调系统的形式虽然很多，但各种形式在工程中的推广还很有限，不如国外普遍。另外，有的工程实例中仍存在一些不合理之处。总之，除了设计经验不足之外，更重要的是因为缺乏对该系统的深入了解。因此，为了在我国更好的推广和应用水环热泵空调系统，本书将系统地介绍水环热泵空调系统的运行特性、能耗分析、设计要点、外部能源、应用实例和应用评价等问题。

本书共分 8 章，主要内容和特点如下：介绍热泵的基本知识和在我国暖通空调中的应用与发展；系统地总结水环热泵空调系统运行能耗评价方法及在我国的应用评价；介绍水/空气热泵机组运行特性和水环热泵空调系统中的主要设备；系统地总结出水环热泵空调系统设计要点与方法；介绍水环热泵空调系统及水/空气热泵机组的控制问题；针对传统水环热泵空调系统的问题，总结出可再生能源水环热泵空调系统与混合系统并指明设计应注意的一些问题；介绍一些典型的工程实例；介绍国外水环热泵空调系统的运行经验和一些实测结果。

在编写过程中，本书强调理论与实际并重，可供从事暖通空调和热泵工作的专业技术人员、节能工作者、制冷专业的技术人员阅读，同时也可供供热、燃气、通风及空调工程专业的研究生与本科生阅读。全书第 2、6、7 章由马最良编著；第 1、4、5 章由姚杨编著；第 3

章由杨自强编著；第8章由姜益强编著。全书由姚杨负责统稿。另外，作者指导过的研究生曹源、杨辉、喻银平也参与了部分研究工作。研究生倪龙、封家平、董菲为本书成稿做了一些辅助性工作，对此谨致谢意。由于编者的水平所限，难免存在缺点和错误，望读者给予批评指正。

编者
2004年6月

第二版前言

《水环热泵空调系统设计》第一版于2005年出版，这是一部较全面阐述水环热泵空调系统应用理论基础与实践的专著。本书的出版对我国水环热泵空调系统的普及、推广起到了积极的推动作用：使设计人员和业主对水环热泵空调系统在现代空调中的节能性、环保性认识更加深刻；对传统水环热泵空调系统存在辅助加热用能不合理的问题，在设计中也开始应用低位再生能源和热泵辅助加热。第一版虽然归纳总结出可再生能源水环热泵空调系统和混合系统，解决了传统水环热泵空调系统辅助加热用能不合理的问题，以及内区设置小型水/空气热泵的全年制冷工况下的能耗比大型冷水机组为冷源空调系统大的问题，但是水环热泵空调系统仍然存在如下问题。

(1) 由于水环热泵空调系统采用单元式水/空气热泵机组，小型制冷机设置在室内，其噪声会高于风机盘管系统。

(2) 对于具有较大建筑内区的既有建筑节能减排的改造工程，如何将原风机盘管加新风系统改造为水环热泵空调系统，以回收和利用建筑物内区的余热。

为解决上述问题和基于在未来低碳时代的绿色建筑中，水环热泵空调系统具有潜在的应用空间和应用价值的理念，编著者对原书第一版进行增删、调整，增加了水环热泵空调系统形式的集成创新和施工要点等新的章节，同时在相应章节增加有关节能技术的新内容，使其更加充实、完整，出版了这本《水环热泵空调系统设计》第二版。全书共分10章，主要内容包括热泵的基本知识、水环热泵空调系统及其评价、水环热泵空调系统中的设备、水环热泵空调系统的设计、水环热泵空调系统的控制、可再生能源水环热泵空调系统、水环热泵空调系统形式的集成创新、典型的工程实例、国外水环热泵空调系统运行经验总结以及水环热泵空调系统施工要点。

本书由姚杨、姜益强、马最良共同编著，姚杨统稿，本书作者所在单位的研究生们为本书成稿做了很多辅助性工作，对此谨致谢意。由于作者时间有限，书中难免存在不妥之处，敬请广大专家和读者批评指正。

编著者
2011年1月

目 录

第1章 热泵的基本知识	1
1.1 热泵的定义	1
1.2 热泵空调的典型图示	2
1.3 热泵的低位热源	3
1.3.1 空气	4
1.3.2 水	5
1.3.3 土壤	7
1.3.4 太阳能	9
1.4 热泵的驱动能源及驱动装置	10
1.4.1 电动机	10
1.4.2 燃料发动机	11
1.5 热泵的热用户(热汇)	11
1.6 热泵的分类	12
1.6.1 根据热泵在建筑物中的用途分类	12
1.6.2 按低位热源的种类分类	13
1.6.3 按驱动能源的种类分类	13
1.6.4 按热泵系统低温端与高温端所使用的载热介质分类	13
1.7 热泵空调系统的分类	15
1.8 热泵的评价方法	16
1.8.1 热泵经济性的评价方法	16
1.8.2 热泵空调模糊分析评价法	20
1.9 热泵空调的节能效益	21
1.10 热泵空调的地球环保效益	24
1.11 热泵在我国暖通空调中的应用与发展	25
参考文献	30
第2章 水环热泵空调系统及其评价	32
2.1 概述	32
2.2 水环热泵空调系统的组成与运行特点	33
2.2.1 水环热泵空调系统的组成	33
2.2.2 水环热泵空调系统的运行特点	34
2.3 水环热泵空调系统的特点	35
2.4 几种空调系统的技术经济评价	37
2.4.1 几种空调系统的综合评价	37
2.4.2 几种空调系统技术经济指标值的比较	38

2.4.3	几种空调系统的能耗模拟分析	39
2.5	水环热泵空调系统运行能耗的静态分析法	40
2.5.1	常规空调系统能耗	40
2.5.2	闭式环路水环热泵空调系统运行能耗	41
2.5.3	系统运行能耗分析	42
2.6	水环热泵空调系统运行能耗的计算机动态模拟分析法	43
2.6.1	模拟模型	43
2.6.2	模拟算例	43
2.7	水环热泵空调系统运行能耗的参数评价法	45
2.7.1	建筑物特征参数	46
2.7.2	水环热泵空调系统的能耗评价参数	46
2.7.3	建筑负荷特性参数与水环热泵空调系统能耗评价参数之间的关系	48
2.7.4	参数评价法的评价步骤	50
2.7.5	算例	51
2.8	水环热泵空调系统在我国应用的评价	53
2.8.1	用 \tilde{E} - K 值关系评价水环热泵空调系统在我国某些城市的应用	53
2.8.2	用动态模拟分析法评价水环热泵空调系统在我国的应用	54
	参考文献	57

第3章 水环热泵空调系统中的设备 58

3.1	小型水/空气热泵机组的形式与分类	58
3.2	小型水/空气热泵机组的运行特性	59
3.2.1	水源热泵机组的几个概念	59
3.2.2	水源热泵机组的特性曲线	61
3.3	常见的小型水/空气热泵机组	65
3.4	小型水/空气热泵机组的设计计算要点	67
3.5	排热设备	71
3.6	加热设备	73
3.7	水处理设备	73
3.8	送回风附件	75
3.8.1	送风口	75
3.8.2	回风口	75
3.8.3	风量调节阀	76
	参考文献	76

第4章 水环热泵空调系统的设计 77

4.1	概述	77
4.2	建筑物供暖和供冷负荷	77
4.3	机组的选择和布置	80
4.3.1	机组形式的选择	80
4.3.2	机组容量的确定	80
4.3.3	机组风道的设计	81

4.3.4 消声减振措施	82
4.4 水循环管路	83
4.4.1 水循环管路的布置	83
4.4.2 管径的确定	85
4.4.3 水系统的定压	88
4.4.4 系统的补水、排水和放气	88
4.4.5 水系统的水处理	89
4.5 凝结水管的设计	90
4.6 排热设备的选用	91
4.7 加热设备的选用	92
4.7.1 水的加热设备	93
4.7.2 空气电加热器	93
4.8 循环水泵的选择	94
4.9 蓄热水箱的确定	94
4.9.1 低温蓄热水箱	94
4.9.2 高温蓄热水箱	96
4.10 新风与排风系统的设计	97
4.10.1 新风量	97
4.10.2 水环热泵空调系统中的新风系统形式与设备	100
4.10.3 低温送风独立新风系统	101
4.10.4 新风机组	102
4.10.5 排风系统	104
4.10.6 排风热回收系统	105
4.11 水循环管路 with 机组风管系统的节能要点	108
4.11.1 水循环管路系统的节能要点	108
4.11.2 机组风管系统的节能要点	110
参考文献	111

第5章 水环热泵空调系统的控制 112

5.1 环路水温的控制	112
5.1.1 循环水泵的控制要求	112
5.1.2 排热控制	112
5.1.3 补充热量控制	114
5.1.4 蓄热水箱的控制要求	114
5.1.5 系统的安全控制和报警	114
5.1.6 其他的控制设备	114
5.2 室内水源热泵机组的控制	115
5.3 室内水源热泵机组的电气控制	116
5.4 新风系统的控制与调节	117
5.4.1 直接数字控制 (DDC) 系统简介	117
5.4.2 新风机组的直接数字控制 (DDC) 系统	117
5.5 水环热泵空调系统控制实例	119
参考文献	120

第6章 可再生能源水环热泵空调系统	121
6.1 概述	121
6.2 太阳能水环热泵空调系统	121
6.2.1 闭式太阳能水环热泵空调系统	122
6.2.2 开式太阳能水环热泵空调系统	122
6.3 井水源水环热泵空调系统	124
6.3.1 井水源水环热泵空调系统图示	124
6.3.2 地下水回路运行中易出现的问题及预防措施	126
6.4 土壤源水环热泵空调系统	128
6.4.1 土壤源水环热泵空调系统图示	128
6.4.2 地下埋管换热器常见的形式	129
6.4.3 地下埋管换热器设计中应注意的问题	130
6.5 双级耦合水环热泵空调系统	130
6.5.1 双级耦合水环热泵空调系统原理及特点	130
6.5.2 双级耦合水环热泵空调系统形式	132
6.5.3 空气/水热泵机组在寒冷地区应用的分析	133
6.5.4 空气/水+水/空气双级耦合热泵系统在我国“三北”地区应用的预测分析	135
参考文献	136
第7章 水环热泵空调系统形式的集成创新	137
7.1 概述	137
7.2 水环多联机热泵空调系统	137
7.2.1 多联机系统	137
7.2.2 水环多联机热泵空调系统	138
7.2.3 水环多联机热泵空调系统运行的模拟预测分析	140
7.3 水/水热泵水环热泵空调系统	142
7.3.1 新系统的提出背景	142
7.3.2 水/水热泵水环热泵空调系统	143
7.4 水环热泵混合系统	145
7.4.1 带离心式冷水机组的水环热泵混合系统	145
7.4.2 带单元式空调机组的水环热泵混合系统	146
7.4.3 带热水供应的水环热泵空调系统	146
参考文献	147
第8章 典型工程实例	148
8.1 上海某公寓式写字楼及部分裙楼水环热泵空调系统工程实例	148
8.1.1 工程概述	148
8.1.2 空调系统	148
8.1.3 新风系统与噪声处理	150
8.1.4 工程实例分析	150
8.2 郑州某幢多功能综合建筑水环热泵空调系统工程实例	150

8.2.1	工程概述	150
8.2.2	水环热泵空调系统	151
8.2.3	机组及系统的控制	152
8.2.4	工程实例分析	152
8.3	北京裕京花园俱乐部水环热泵空调系统工程实例	153
8.3.1	工程概述	153
8.3.2	水环热泵空调系统	153
8.3.3	水环路水温的控制	153
8.3.4	工程实例分析	153
8.4	日本东京镰仓河岸大厦水环热泵空调系统工程实例	154
8.4.1	水环热泵空调系统	154
8.4.2	主要设备	155
8.4.3	系统采用的自动控制方案	156
8.4.4	工程实例分析	156
8.5	法兰克福某学院的水环热泵空调系统工程实例	156
8.5.1	工程概述	156
8.5.2	空调系统	157
8.5.3	运行效果	158
8.5.4	工程实例分析	158
8.6	北京嘉和丽园公寓水环热泵空调系统工程实例	159
8.6.1	工程概述	159
8.6.2	空调系统	159
8.6.3	公寓部分空调设备费概算	161
8.6.4	运行情况	161
8.6.5	工程实例分析	161
8.7	大连电力大厦水环热泵空调设计实例	162
8.7.1	工程概述	162
8.7.2	空调系统	162
8.7.3	工程设计实例分析	164
8.8	南京和园饭店水环热泵空调设计实例	164
8.8.1	工程概述	164
8.8.2	选择水环热泵空调系统作空调改造方案	164
8.8.3	改造后空调系统的评价	165
8.8.4	工程实例分析	166
8.9	浙江省某宾馆水环热泵空调设计实例	166
8.9.1	工程概述	166
8.9.2	空调系统	167
8.9.3	设计实例分析	168
	参考文献	168

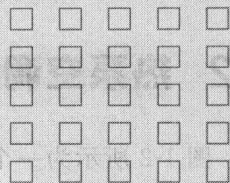
第9章	国外水环热泵空调系统运行经验总结	169
9.1	概述	169
9.2	国外水源热泵机组的标准	169

9.3 地下井水源水环热泵空调系统性能监控结果	171
9.3.1 监测建筑与系统	171
9.3.2 控制策略	172
9.3.3 运行现场测试结果	172
9.3.4 本节结语	177
9.4 土壤热源水环热泵空调系统性能现场实测结果	178
9.4.1 监测建筑与系统	178
9.4.2 系统控制策略要点	179
9.4.3 测试结果	180
9.4.4 本节结语	182
9.5 环路变流量的水环热泵空调系统运行结果	183
9.5.1 监测建筑与系统	183
9.5.2 变流量水环热泵空调系统的原理	184
9.5.3 测试结果	184
9.5.4 本节结语	186
9.6 带蓄能装置的某水环热泵空调系统运行结果	186
9.6.1 监测建筑与系统	186
9.6.2 系统控制策略	186
9.6.3 峰谷电价值	187
9.6.4 系统能耗及经济分析	187
9.6.5 本节结语	189
参考文献	189

第10章 水环热泵空调系统施工要点	190
10.1 概述	190
10.2 水环热泵空调系统的安装工艺流程	190
10.3 施工前的准备	191
10.4 小型水/空气热泵机组的安装施工要点	191
10.5 风管、风口安装施工要点	194
10.6 水环路安装施工要点	195
10.7 水环热泵空调系统的试运转及调试	200
10.7.1 系统的充水及清洗	200
10.7.2 系统的试运行及调试	200
10.8 水环热泵空调系统的故障分析及排除	201
参考文献	204

第1章

热泵的基本知识



1.1 热泵的定义

热泵是一种利用高位能使热量从低位热源流向高位热源的节能装置^[1]。顾名思义，热泵也就是像泵那样，可以把不能直接利用的低位热能（如空气、土壤、水中所含的热能、太阳能、工业废热等）转换为可以利用的高位热能，从而达到节约部分高位能（如煤、燃气、石油、电能等）的目的。

由此可见，热泵的定义涵盖了以下几点。

(1) 热泵虽然需要消耗一定量的驱动能源，但是理论上所供给用户的热量却是消耗的高位热能与吸取的低位热能的总和。也就是说，应用热泵，用户获得的热量永远大于所消耗的驱动能源。因此，热泵是一种节能装置。

(2) 热泵可设想为图 1-1 所示的节能装置（或称节能机械），由动力机和工作机组成热泵机组。利用驱动能源来推动动力机（如汽轮机、燃气机、燃油机、电机等），然后再由动力机来驱动工作机（如制冷机、喷射器）运转，工作机像泵一样，把低位的热能输送至高品位，以便向用户供热。

(3) 热泵除遵循热力学第一定律，即在热量传递与转换的过程中，遵循能量守恒的数量关系；同时遵循热力学第二定律，热量不可能自发、不付代价、自动地从低温物体转移至高温物体。在热泵定义中明确指出，热泵是靠高位能驱动，迫使热量由低温物体传递给高温物体。

目前，在暖通空调系统中，主要用热泵来提供 100℃ 以下的低温用能，作为暖通空调系统的热源或冷热源。据估计，欧洲在 100℃ 以下低温用热方面的耗能占总能耗的 50% 左右^[2]。因此，热泵为暖通空调系统提供 100℃ 以下的低温用能具有重大的现实意义，是一项很有节能潜力的新技术，也是暖通空调系统减少 CO₂、SO₂、NO_x 排放量的一种有效方法。在工程实践中，常在空调系统的部分设备或全部设备中选用热泵装置。空调系统中选用热泵时，此系统称为热泵空调系统，或简称热泵空调。如地下井水源热泵空

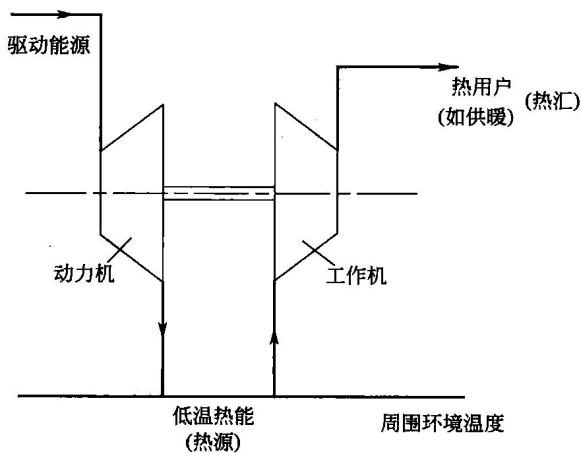


图 1-1 热泵机组

调系统、水环热泵空调系统、变制冷剂流量的热泵空调系统（VRV 热泵空调系统）等。

1.2 热泵空调的典型图示

图 1-2 所示为一个简单的热泵空调的典型图示。它是由压缩机、四通换向阀、制冷剂/水换热器、制冷剂/空气换热器、节流机构等构成一个最简单的热泵装置，称为空气源热泵冷热水机组，作为空调系统的冷热源。夏季按制冷工况运行，即制冷剂/水换热器作为蒸发器，制冷剂/空气换热器作为冷凝器，向用户提供 7℃ 的冷冻水，作为空调的冷源。冬季按热泵工况运行，即制冷剂/水换热器作为冷凝器，制冷剂/空气换热器作为蒸发器，向用户提供 55℃ 的热水，作为空调的热源。这种由空气源热泵冷热水机组、管网的循环水泵、管网、空调用户系统、定压装置、补水装置等组成的空调系统称为空气源热泵空调系统。该系统热泵工况运行时，通过蒸发器（制冷剂/空气换热器）从低位热源（空气）吸取热量 Q_c ，在冷凝器（制冷剂/水换热器）中放出热量 Q_e ，将热量 Q_e 供给空调末端装置（如风机盘管空调器），理论上 $Q_e = Q_c + W$ 。这种空调系统在冬季只要消耗少量的驱动能源 W ，便可得到满足房间供热所需要的热量 Q_e 。

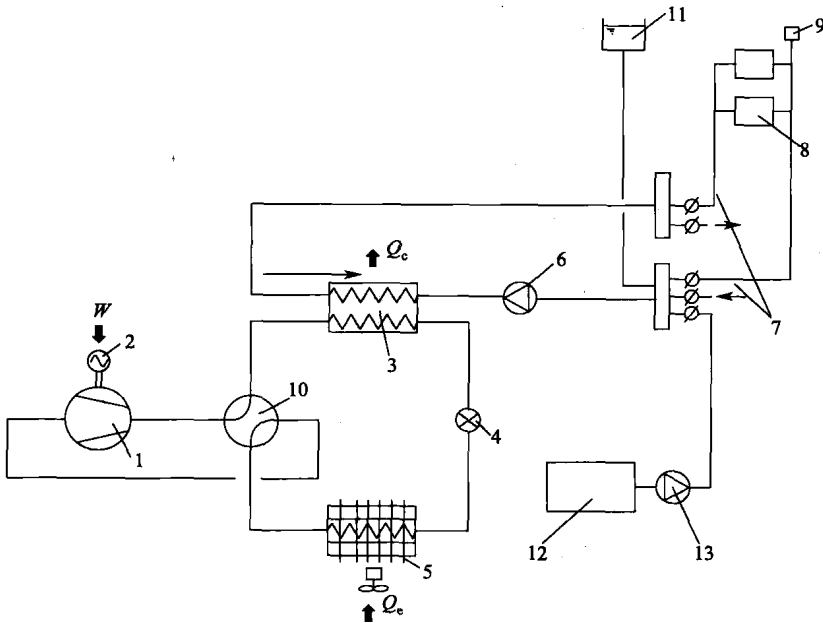


图 1-2 热泵空调的典型图示（冬季热泵工况）

- 1—压缩机；2—电动机；3—制冷剂/水换热器；4—节流机构；5—制冷剂/空气换热器；
6—管网的循环水泵；7—管网；8—空调用户系统（如风机盘管系统）；
9—放气装置；10—四通换向阀；11—定压装置；12—补水箱；13—补水泵

通过以上简单的热泵空调图示可以看出，在一般情况下，制冷机可以作为热泵的工作机。因为制冷循环既制造了低于环境温度的物质并从低于环境温度的物体中吸取热量，又制造了高于环境温度的热量，从而获得供热效果，形成了所谓热泵的作用。因此，一般而言，热泵的工作原理与制冷机相同，都是按热机的逆循环工作的，所不同的是工作温度范围不同，使用的目的也不同。制冷机利用吸收热量而使对象变冷，达到制冷目的；而热泵则是利用排放热量向对象供热，达到供热目的，如图 1-3 所示。图 1-3(a) 表示热泵装置，它从环

境中吸取热量，传递给高温物体，实现供热目的；图 1-3(b) 表示制冷机，它从低温物体吸取热量并传递到环境中去，实现制冷目的；图 1-3(c) 表示同时供冷供热的联合循环机，它从低温物体吸热而实现供冷，同时又把热量传递给被加热的对象，实现供热目的。由此可见，热泵系统的组成，应包括以下三个主要部分。

(1) 热泵的驱动能源（电能、汽油、柴油、煤气、煤等）和驱动装置（电动机、燃料发动机、蒸汽透平等）。

(2) 热泵的工作机。一般来说，制冷机可作为这种热泵系统的工作机，制冷机的冷凝器释放的热量不是简单地排向大气，而是加以利用，通过供热系统向用户供热。

(3) 低位热源（如空气、水、地热、工业废热、太阳能等）。热泵从低位热源吸取热量，使其温度升高，转为可利用的热能。

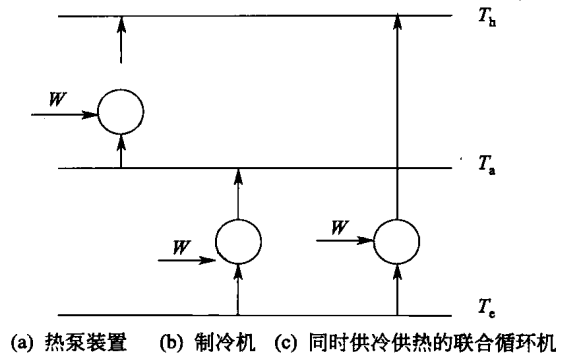


图 1-3 制冷机与热泵的基本能量转换关系

1.3 热泵的低位热源

被热泵吸取热量的物体一般称为热泵的低位热源（或称低温热源，简称热源）。一般而言，低位热源是指无价值、不能直接应用的热源。如储存在周围空气、水、大地中的热能；生活中所排出的废热，如排水和排气中的废热；生产的排出物（水或气等）中的含热量；能量密度较小的太阳能等。这些都是量大面广、俯拾皆是，而一般又被人们认为不可利用的低位热源，但都可以利用热泵装置将它们转化为可以利用的再生高位热源，作为暖通空调系统的热源，提供低温热水（如 45~60℃ 的热水）。因此，在矿物能源逐渐短缺的当今世界，如何利用好低位热源的问题，应引起暖通空调界的重视。

热泵的低位热源一般可分为两类：一类是自然能源，即自然界存在的温度较低的能源，如空气、井水、河水、海水、土壤、太阳能等；另一类是生活和生产的排热热源，如生活排水和排气、生产废热、建筑内余热等。

设计热泵空调系统时，正确选取热泵的低位热源是十分重要的问题。热泵空调低位热源的选择对热泵的工作特性、经济性、节能效果、运行的可靠性等均有很重要的影响。因此，在选取热泵空调低位热源时，应注意以下几点。

(1) 要遵守因地制宜的原则。我国幅员辽阔，东西南北的气候条件相差很大，各建筑物的空调负荷特点也各不相同，绝对不能生搬硬套，一定要根据各自特点来选取热泵空调的低位热源形式。

(2) 注意选择的低位热源要有足够的数量和较高的温度；热源的载热剂应尽量洁净、无杂质，对设备无腐蚀作用，而且尽可能不产生污染和结垢现象。低位热源应该没有或者有极少的附加费用。

(3) 热源与热汇的蓄热问题。通过蓄热可解决以下三个问题。第一，有些热泵空调低位热源（如空气、太阳能等）的温度或能量是变化的，多变的低位热源必然造成热泵制热量在不断变化，而空调系统需要的热量也是不均衡的。因此，供需之间永远存在不一致的矛盾。

当然也可以用对热泵的能量进行调节来统一供需矛盾，但这样必然要求热泵按最大负荷来选取，使设备的容量过大。因此，通过蓄热可协调供需之间的不一致性，还可减小设备容量。第二，热泵空调采用蓄热装置可弥补低位热源（如太阳能等）的不可靠性和间断性。第三，电动热泵中高温侧的蓄热装置能起到电力调峰填谷的作用。

(4) 热泵低位热源与辅助热源的匹配。

(5) 注意空气、水、土壤、太阳能及蓄热的合理组合，使热泵低位热源多元化。例如，选用双热源的热泵，即在环境温度高时，热泵使用空气作为低位热源；在环境温度低时再改用另一种低位热源，如井水^[3,4]。

下面简单介绍一下常用的低位热源。

1.3.1 空气

空气是热泵空调的主要低位热源之一。有良好的适用性，广泛地应用于热泵空调领域中。目前，我国家用热泵空调器全部是以空气作为低位热源。空气随时随地可得，而且取之不尽，用之不竭。另外，空气源热泵装置的安装和使用也都比较方便。但是在设计中要注意解决好下述问题。

(1) 室外空气的状态参数（如温度和湿度）随地区、季节和时间（白天、夜间）的不同而变化。这对空气源热泵的制热量和制热性能系数影响很大。众所周知，当室外空气的温度降低时，空气源热泵的供热量减少，而建筑物的耗热量却在增加，这造成了空气源热泵供热量

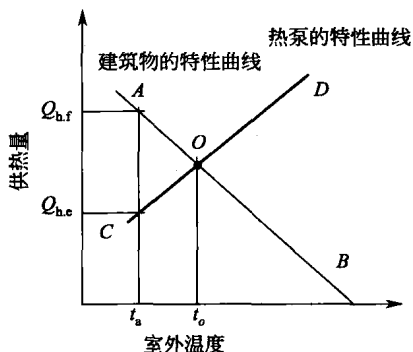


图 1-4 空气源热泵供热系统的特性

与建筑物耗热量之间的供需矛盾。图 1-4 所示为采用空气源热泵供暖系统的特性。图中 AB 线为建筑物耗热量特性曲线；CD 线为空气源热泵供热量特性曲线，两条线呈相反的变化趋势。其交点 O 称为平衡点，相对应的室外温度 t_o 称为平衡点温度。当室外空气温度高于 t_o 时，热泵供热量大于建筑物耗热量，此时，可通过对热泵的能量调节来解决热泵供热量过剩的问题。当室外空气温度低于 t_o 时，热泵供热量小于建筑物耗热量，此时，可采用辅助热源来解决热泵供热量的不足。

如在温度为 t_a 时，建筑物耗热量为 $Q_{h,f}$ ，热泵供热量为 $Q_{h,e}$ ，辅助热源供热量为 $(Q_{h,f} - Q_{h,e})$ 。因此，优化全国各地的平衡点温度，合理选取辅助热源及热泵的调节方式是空气源热泵空调设计中的重要问题。

(2) 冬季空气温度很低时，空气源热泵的蒸发温度也很低。当室外换热器表面温度低于 0°C 且低于空气的露点温度时，空气中的水分在换热器表面就会凝结成霜，使空气源热泵的制热性能系数和运行的可靠性降低。因此，空气源热泵需要定期除霜，在空气源热泵空调的设计中应充分考虑这一点。

空气源热泵蒸发器的结霜情况取决于室外空气的温湿度。在相对湿度 ϕ 相同的情况下（70%以上），室外空气温度在 $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ 之间时，结霜最严重。空气相对湿度变化对结霜情况的影响远远大于空气温度变化对结霜的影响。当空气相对湿度低于 65% 时，单位时间的结霜量明显减少；而相对湿度在 50% 以下时，则不会结霜。图 1-5 所示为日本提出的某些空气源热泵结霜的室外空气参数范围^[5]。根据我国气象资料统计，我国南方地区热泵的结霜情

况要比北方地区严重得多^[6]。

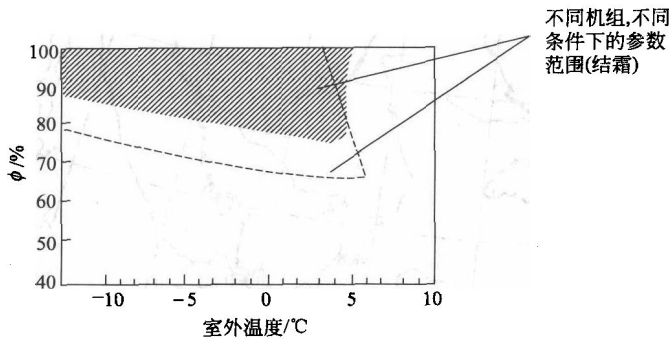


图 1-5 空气源热泵结霜的室外空气参数范围

(3) 空气的热容量小, 要获得足够的热量时, 需要较大的空气量, 因而使风机的容量增大。一般来说, 从空气中每吸收 1kW 热能, 所需要的空气流量约为 $0.1\text{m}^3/\text{s}$ (即 $360\text{m}^3/\text{h}$)。

我国的气候涵盖了寒带、温带、热带。按我国《建筑气候区划标准》(GB 50178—93), 全国分为七个一级区。其中 II 区 1 月份平均气温为 $-10\sim 0^\circ\text{C}$, 年平均气温 $< 5^\circ\text{C}$ 的日数为 $90\sim 145$ 天; III 区 1 月份平均气温为 $0\sim 10^\circ\text{C}$, 年平均气温 $< 5^\circ\text{C}$ 的日数为 $0\sim 90$ 天; IV 区 1 月份平均气温为 $0\sim 13^\circ\text{C}$, 年平均气温 $< 5^\circ\text{C}$ 的日数为 $0\sim 90$ 天。因此, 在我国广大地区以室外空气作为热泵的低位热源是大有可为的。近年来, 空气源热泵的应用范围在不断地北扩。

1.3.2 水

水是一个优良、引人注目的热泵低位热源, 在热泵空调中常被采用。早期热泵中就开始用水(河水、湖水)作为低位热源。水的热容量大, 传热性能好, 故传递一定热量所需的水量相对较少, 换热设备的体积也可较小。水相对于室外空气来说, 可以算作质量较好的低位热源, 它不存在结霜问题, 冬季水温也比较稳定, 除了在严寒季节, 一般水温不会下降到 4°C 以下。如上海黄浦江 1 月份的平均水温为 6.7°C ; 武汉长江 1 月份的平均水温也为 6.7°C (1983 年资料), 武汉东湖 1 月份平均水温为 3.1°C (1977~1979 年资料)^[7]。深井水的水温一般比当地年平均气温高 $1\sim 2^\circ\text{C}$ 。我国各地区地下水的水温见表 1-1。

表 1-1 我国各地区地下水的水温

分区	地 区	地下水水温/ $^\circ\text{C}$
第一分区	黑龙江、吉林、内蒙古的全部, 辽宁的大部分, 河北、山西、陕西偏北部分, 宁夏偏东部分	6~10
第二分区	北京、天津、山东全部, 河北、山西、陕西的大部分, 河南北部, 甘肃、宁夏、辽宁的南部, 青海偏东和江苏偏北部分	10~15
第三分区	上海、浙江全部, 江西、安徽、江苏大部分, 福建北部, 湖南、湖北东部, 河南南部	15~20
第四分区	广东、台湾全部, 广西大部分, 福建、云南南部	20
第五分区	贵州全部, 四川、云南大部分, 湖南、湖北的西部, 陕西和甘肃的秦岭以南地区, 广西偏北的一小部分	15~20

可作为热泵空调低位热源的水有地表水(河水、湖水、海水)、地下水(深井水、泉水、地下热水等)、生活废水和工业温水(工艺设备冷却水、生产工艺排放的废温水)等。我国

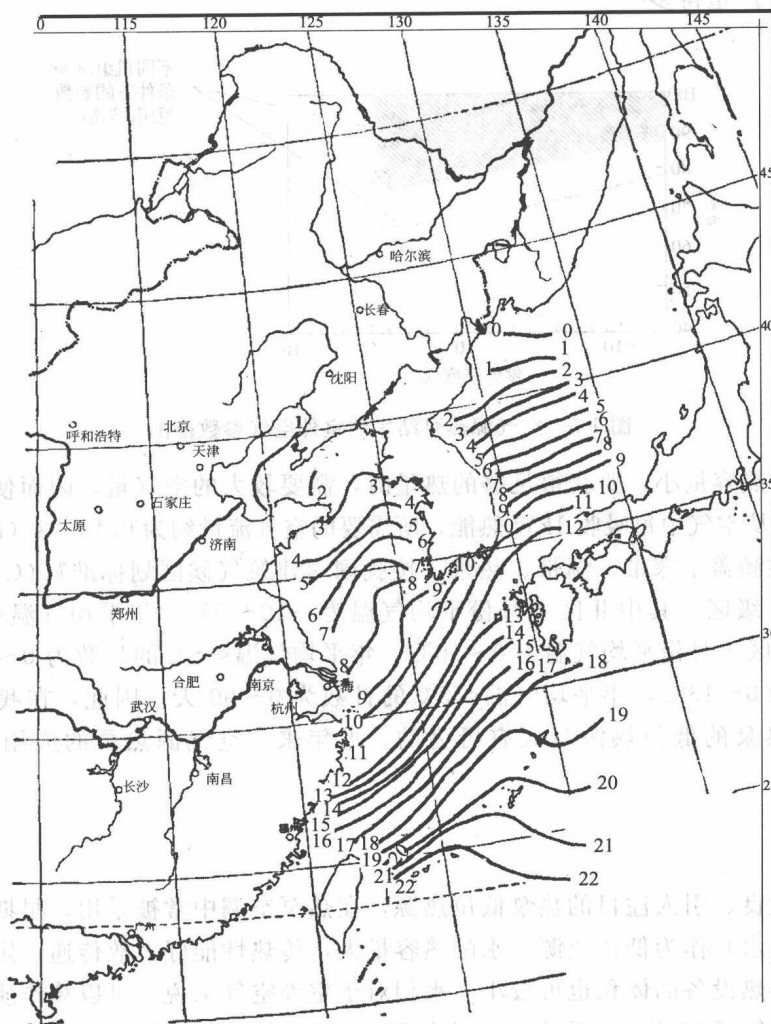


图 1-6 中国近海 1 月份表面的海水温度 (单位: °C)

黄河、长江、珠江流域都有丰富的地表水,沿海不冻良港也很多。我国近海 1 月份表面的海水温度如图 1-6 所示。由图可见,我国沿海的海水都是很好的低位热源。国外应用海水作为热泵低位热源的例子很多^[8]。我国青岛曾提出建造以海水为低位热源的大型热泵站的方案。日本在 1932~1955 年,共装设了 35 个以深井水为热源的热泵系统^[5]。近年来,我国以井水为低位热源的水/水热泵发展十分迅速。井水源热泵冷热水机组已成为我国空调中的一大热点。城市污水也是一个优良、引人注目的低位热源,在整个采暖期间,水温波动不大,是水/水热泵或水/空气热泵的理想低位热源。如哈尔滨市部分工厂、企业污水排放状况见表 1-2,充分表明工厂污水是水源热泵理想的低位热源,应引起关注。

但是,用水作为热泵空调的低位热源时,设计中应注意以下几个问题。

(1) 水资源的合理利用、长期开发必须严格按照国家颁布的有关法规执行,以确保水源不受污染,不对地质造成灾害。

(2) 用井水作为热泵空调的低位热源时,必须采用“井水回灌”的方法,使用过的井水应回灌到原含水层中,以防止地面沉降,应注意回灌水对地下水有无污染。