

# 水环热泵空调 系统设计

● 马最良 姚杨 杨自强 姜益强 编著



化学工业出版社  
材料科学与工程出版中心

331.3  
34

# 水环热泵空调系统设计

马最良 姚 杨 杨自强 姜益强 编著



化学工业出版社  
材料科学与工程出版中心

· 北京 ·

(京)新登字 039 号

**图书在版编目 (CIP) 数据**

水环热泵空调系统设计/马最良等编著. —北京:化学工业出版社, 2004.9  
ISBN 7-5025-6124-2

I. 水… II. 马… III. 空气调节系统-系统设计  
IV. TU831.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 094517 号

---

**水环热泵空调系统设计**

马最良 姚 杨 杨自强 姜益强 编著

责任编辑: 朱 彤

责任校对: 王素芹

封面设计: 蒋艳君

\*

化学工业出版社 出版发行  
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010)64982530

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

北京兴顺印刷厂印刷

北京兴顺印刷厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 13¼ 字数 253 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6124-2/TB·82

定 价: 28.00 元

---

**版权所有 违者必究**

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

# 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；省掉或减少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，将会在空调节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，为了在我国更好地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中应注意的一些问题；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

# 目 录

<b>第 1 章 热泵的基本知识</b> .....	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 .....	4
1.3.1 空气 .....	5
1.3.2 水 .....	6
1.3.3 土壤 .....	9
1.3.4 太阳能 .....	10
1.4 热泵的高位热源及驱动装置 .....	11
1.4.1 电动机 .....	12
1.4.2 燃料发动机 .....	12
1.5 热泵空调的分类 .....	13
1.5.1 根据热泵在建筑物中的用途分类 .....	13
1.5.2 按低位热源的种类分类 .....	13
1.5.3 按驱动能源的种类分类 .....	14
1.5.4 按热泵空调系统低温端与高温端所使用的载热介质分类 .....	14
1.6 热泵的评价方法 .....	16
1.6.1 热泵经济性的评价方法 .....	16
1.6.2 热泵空调模糊分析评价法 .....	19
1.7 热泵空调的节能效益 .....	20
1.8 热泵空调的环保效益 .....	23
1.9 热泵在我国暖通空调中的应用与发展 .....	25
参考文献 .....	29
<b>第 2 章 水环热泵空调系统及其评价</b> .....	33
2.1 概述 .....	33
2.2 水环热泵空调系统的组成与运行特点 .....	34
2.2.1 水环热泵空调系统的组成 .....	34

2.2.2	水环热泵空调系统的运行特点	36
2.3	水环热泵空调系统的特点	37
2.4	几种空调系统的技术经济评价	39
2.4.1	几种空调系统的综合评价	39
2.4.2	几种空调系统技术经济指标值的比较	39
2.4.3	几种空调系统的能耗模拟分析	41
2.5	水环热泵空调系统运行能耗的静态分析法	42
2.5.1	常规空调系统能耗	42
2.5.2	闭式环路水源热泵空调系统运行能耗	43
2.5.3	系统运行能耗分析	44
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	46
2.6.1	模拟模型	47
2.6.2	模拟算例	47
2.7	水环热泵空调系统运行能耗的参数评价法	49
2.7.1	建筑物特征参数	50
2.7.2	水环热泵空调系统的能耗评价参数	51
2.7.3	建筑负荷特征参数与水环热泵空调系统能耗评价参数之间的关系	53
2.7.4	参数评价法的评价步骤	55
2.7.5	算例	56
2.8	水环热泵空调系统在我国应用的评价	58
2.8.1	用 $E-K$ 值关系评价水环热泵空调系统在我国某些城市的应用	58
2.8.2	用水环热泵空调系统动态模拟分析法对其在我国应用的评价	60
	参考文献	63

<b>第3章</b>	<b>水环热泵空调系统中的设备</b>	<b>65</b>
3.1	小型水/空气热泵机组的形式与分类	65
3.2	小型水/空气热泵机组的运行特性	66
3.2.1	水源热泵机组的几个概念	66
3.2.2	水源热泵机组的特性曲线	68
3.3	常见的小型水/空气热泵机组	73
3.4	排热设备	76
3.5	加热设备	78
3.6	水处理设备	79
3.7	送回风附件	80

3.7.1 送风口 .....	80
3.7.2 回风口 .....	81
3.7.3 风量调节阀 .....	81
参考文献 .....	82

## **第4章 水环热泵空调系统的设计 .....** 83

4.1 概述 .....	83
4.2 建筑物供暖和供冷负荷 .....	83
4.3 机组的选择和布置 .....	86
4.3.1 机组形式的选择 .....	86
4.3.2 机组容量的确定 .....	87
4.3.3 机组风道的设计 .....	87
4.3.4 消声减振措施 .....	88
4.4 水循环管路 .....	89
4.4.1 水循环管路的布置 .....	90
4.4.2 管径的确定 .....	91
4.4.3 水系统的定压 .....	96
4.4.4 系统的补水、排水和放气 .....	96
4.4.5 水系统的水处理 .....	97
4.5 凝结水管的设计 .....	98
4.6 排热设备的选用 .....	99
4.7 加热设备的选用 .....	101
4.7.1 水的加热设备 .....	101
4.7.2 空气电加热器 .....	102
4.8 循环水泵的选择 .....	103
4.9 蓄热水箱的确定 .....	103
4.9.1 低温蓄热水箱 .....	104
4.9.2 高温蓄热水箱 .....	105
4.10 新风与排风系统的设计 .....	106
4.10.1 新风量 .....	106
4.10.2 水环热泵空调系统中的新风系统形式与设备 .....	111
4.10.3 低温送风独立新风系统 .....	112
4.10.4 排风系统 .....	114
参考文献 .....	115



<b>第 5 章 水环热泵空调系统的控制</b> .....	<b>117</b>
5.1 环路水温的控制 .....	117
5.1.1 循环水泵的控制要求 .....	118
5.1.2 排热控制 .....	118
5.1.3 补充热量控制 .....	119
5.1.4 蓄热水箱的控制要求 .....	119
5.1.5 系统的安全控制和报警 .....	119
5.1.6 其他控制设备 .....	120
5.2 室内水源热泵机组的控制 .....	120
5.3 室内水源热泵机组的电气控制 .....	122
5.4 新风系统的控制与调节 .....	122
5.4.1 冷/热盘管合设新风机组的控制方案之一 .....	122
5.4.2 冷/热盘管合设新风机组的控制方案之二 .....	123
5.4.3 冷/热盘管分设新风机组的控制方案之一 .....	124
5.4.4 冷/热盘管分设新风机组的控制方案之二 .....	125
5.4.5 新风机组的直接数字控制 (DDC) 系统 .....	125
5.5 水环热泵系统控制实例 .....	128
参考文献 .....	129
<b>第 6 章 可再生能源水环热泵空调系统与混合系统</b> .....	<b>131</b>
6.1 概述 .....	131
6.2 太阳能水环热泵空调系统 .....	132
6.2.1 闭式太阳能水环热泵空调系统 .....	132
6.2.2 开式太阳能水环热泵空调系统 .....	132
6.3 井水源水环热泵空调系统 .....	134
6.3.1 井水源水环热泵空调系统图示 .....	135
6.3.2 地下水回路运行中易出现的问题及预防措施 .....	137
6.4 土壤源水环热泵空调系统 .....	139
6.4.1 土壤源水环热泵空调系统图示 .....	140
6.4.2 地下埋管换热器的常见形式 .....	141
6.4.3 地下埋管换热器设计中应注意的问题 .....	142
6.5 双级耦合水环热泵空调系统 .....	143
6.5.1 双级耦合热泵系统原理及特点 .....	143
6.5.2 双级耦合水环热泵空调系统形式 .....	144
6.5.3 空气/水热泵机组在寒冷地区应用的分析 .....	145

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 .....	149
6.6	水环热泵混合系统 .....	150
6.6.1	带离心式冷水机组的水环热泵混合系统 .....	150
6.6.2	带单元式空调机组的水环热泵混合系统 .....	151
6.6.3	带热水供应的水环热泵空调系统 .....	151
	参考文献 .....	152
<b>第7章</b>	<b>典型工程实例</b> .....	<b>155</b>
7.1	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 .....	155
7.1.1	工程概述 .....	155
7.1.2	空调系统 .....	155
7.1.3	新风系统与噪声处理 .....	157
7.2	郑州某幢多功能综合建筑水环热泵空调系统工程实例 .....	157
7.2.1	工程概述 .....	157
7.2.2	水环热泵空调系统 .....	158
7.2.3	机组及系统控制 .....	159
7.3	北京裕京花园俱乐部水环热泵空调系统工程实例 .....	160
7.3.1	工程概述 .....	160
7.3.2	水环热泵空调系统 .....	160
7.3.3	水环路水温的控制 .....	160
7.4	日本东京镰仓河岸大厦水环热泵空调系统工程实例 .....	161
7.4.1	水环热泵空调系统 .....	161
7.4.2	主要设备 .....	161
7.4.3	系统采用的自动控制方案 .....	163
7.5	法兰克福某学院的水环热泵空调系统工程实例 .....	164
7.5.1	工程概述 .....	164
7.5.2	空调系统 .....	164
7.5.3	运行效果 .....	165
7.6	北京嘉和丽园公寓水环热泵空调系统工程实例 .....	166
7.6.1	工程概述 .....	166
7.6.2	空调系统 .....	166
7.6.3	公寓部分空调设备费概算 .....	168
7.6.4	运行情况 .....	169
7.7	大连电力大厦水环热泵空调设计实例 .....	169

7.7.1	工程概述 .....	169
7.7.2	空调系统 .....	169
7.8	南京和园饭店水环热泵空调设计实例 .....	172
7.8.1	工程概况 .....	172
7.8.2	选择水环热泵空调系统进行空调改造方案 .....	172
7.8.3	改造后空调系统的评价 .....	173
7.9	浙江省某宾馆水环热泵空调设计实例 .....	174
7.9.1	工程概述 .....	174
7.9.2	空调系统 .....	174
	参考文献 .....	175

## **第8章 国外水环热泵空调系统运行经验总结 .....** 177

8.1	概述 .....	177
8.2	国外水源热泵机组的标准 .....	177
8.3	地下井水源水环热泵空调系统性能监控结果 .....	180
8.3.1	监测建筑与系统 .....	180
8.3.2	控制策略 .....	181
8.3.3	运行现场测试结果 .....	181
8.3.4	本节结语 .....	187
8.4	土壤热源水环热泵空调系统性能现场实测结果 .....	187
8.4.1	监测建筑与系统 .....	187
8.4.2	系统控制策略要点 .....	188
8.4.3	测试结果 .....	189
8.4.4	本节结语 .....	193
8.5	环路变流量的水环热泵空调系统运行结果 .....	193
8.5.1	监测建筑与系统 .....	193
8.5.2	变流量水环热泵空调系统的原理 .....	195
8.5.3	测试结果 .....	195
8.5.4	本节结语 .....	197
8.6	带蓄能装置的某水环热泵空调系统运行结果 .....	197
8.6.1	监测建筑与系统 .....	197
8.6.2	系统控制策略 .....	198
8.6.3	峰谷电价值 .....	198
8.6.4	系统能耗及经济分析 .....	199
8.6.5	本节结语 .....	200
	参考文献 .....	201

# 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<sup>[1]</sup>。顾名思义，热泵也就是像泵一样，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、油、电能等）的目的。由此可见，热泵的定义涵盖以下几点。

① 热泵虽然需要消耗一定量的高位能，但所供给用户的热量却是消耗的高位能与吸取的低位热能的总和。也就是说，应用热泵时，用户获得的热量永远大于所消耗的高位能。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），即由动力机和工作机组成的热泵机组，利用高位能来推动动力机（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位以向用户供热。

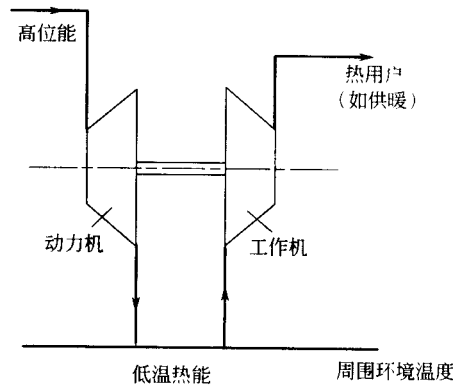


图 1-1 热泵机组

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：热量不可能自发地、不付代价地、自动地从低温物体转移至高温物体。热泵定义中明确指出：热泵是靠高位能拖动，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  $100^{\circ}\text{C}$  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  $100^{\circ}\text{C}$  以下低温用热方面的能耗约占总

能耗的 50% 左右<sup>[2]</sup>。因此，热泵在为暖通空调系统提供 100℃ 以下的低温用能方面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 CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 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，称其系统为热泵空调系统或简称为热泵空调，如地下井水源热泵空调系统、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 给出简单的热泵空调的典型图示（冬季热泵工况）。它由压缩机、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，称为空气源热泵冷热水机组，用它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、管网循环水泵、管网、空调用户系统、定压装置、补水装置等

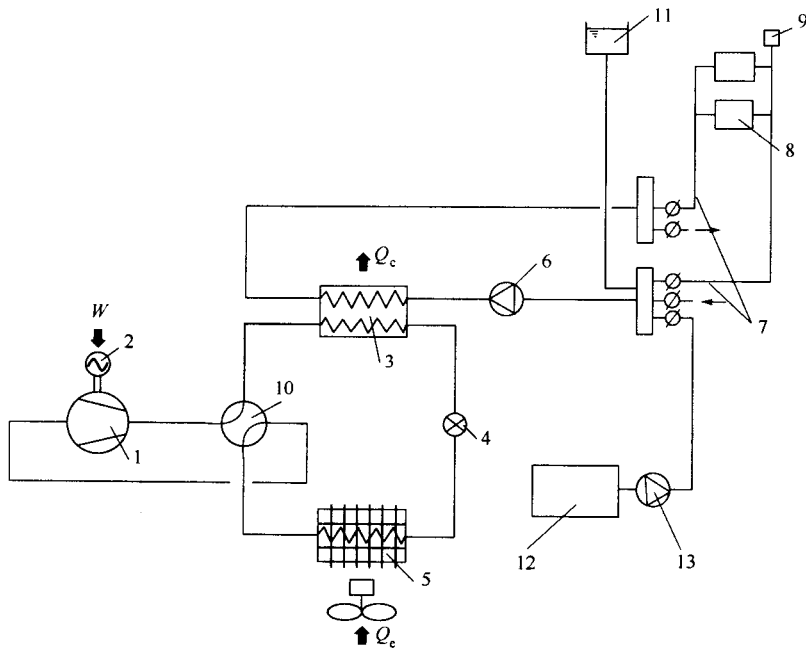


图 1-2 简单的热泵空调的典型图示（冬季热泵工况）

- 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

组成的空调系统称为空气源热泵空调系统。该系统在热泵工况运行时，通过蒸发器（制冷剂/空气换热器）从低位热源（空气）吸取热量  $Q_e$ ，在冷凝器（制冷剂/水换热器）中放出热量  $Q_c = Q_e + W$ ，将热量  $Q_c$  供给空调末端装置（如风机盘管空调器）。这种空调系统在冬季只要消耗少量的高位能源  $W$  便可得到满足房间供热所需要的热量  $Q_c$ 。

通过以上简单的热泵空调图示可以看出，一般情况下制冷机可以作为热泵的工作机。因为制冷循环制造低于环境温度的物质并从低于环境温度下的物体中吸取热量，又制造高于环境温度的热量而获得供热效果，形成所谓热泵的作用。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，它从低温物体吸热去实现供冷，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。

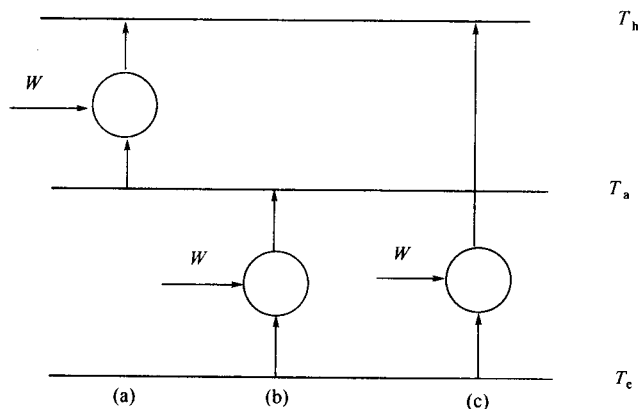


图 1-3 制冷机与热泵的基本能量转换关系

(a) 热泵装置；(b) 制冷机；(c) 同时供冷、供热的联合循环机

① 热泵的高位能源（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，而是加以利用并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，转化为可利用的热能。

### 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，简称为热源）。一般而言，低位热源系指无价值、不能直接应用的热源，如取之不尽并储存在周围的空气及水、大地之中的热能；生活中所排出的废热，如排水和排气中的废热；生产中的排除物（废水或废气等）中的含热量；能量密度较小的太阳能等。这些都属于量大面广且俯拾即是，而一般又被人们认为不可利用的低位热源。它们都可以利用热泵装置转化为可以利用的再生高位热源并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、河川水、海水、土壤、太阳能等；二是生活和生产的排热热源，如生活排水和排气及生产废热、建筑内余热等。

在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重要影响。因此，在选取热泵空调低位热源时，应注意下列问题。

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，对设备无腐蚀作用且尽可能不产生污染和结垢现象。

③ 蓄热问题。通过蓄热可解决下述三个问题。第一，有些热泵空调低位热源（如空气、太阳能）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，供需之间永远存在着不一致的矛盾，当然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并可减小设备容量。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，电动热泵中的蓄热装置能起调峰填谷的作用。

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；而在环境温度低时再改用另一种低位热源，如井水<sup>[3,4]</sup>。

下面简单介绍常用的低位热源。

### 1.3.1 空气

空气作为热泵空调的低位热源有良好的适用性。空气广泛地应用于热泵空调领域中，是热泵空调的主要低位热源之一。目前，我国家用热泵空调器是以空气作为低位热源：空气随时随地可得，取之不尽，用之不竭，可以无偿地获取；而且空气源热泵装置的安装和使用也比较方便。但是在设计中要注意解决好下列问题。

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，这就造成空气源热泵供热量与建筑物耗热量之间的供需矛盾。图 1-4 表示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  $t_0$  称为平衡点温度。当室外温度为  $t_0$  时，热泵供热量与建筑物耗热量相平衡。当室外

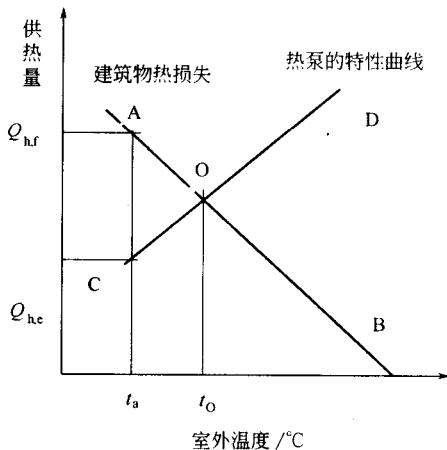


图 1-4 空气源热泵供暖系统的特性

空气温度高于  $t_0$  时，热泵的供热量大于建筑物的耗热量，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  $t_0$  时，热泵的供热量小于建筑物的耗热量，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  $Q_{h,f}$ ，热泵的供热量为  $Q_{h,e}$ ，辅助热源供热量为  $(Q_{h,f} - Q_{h,e})$ 。因此，优化全国各地平衡点温度并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  $0^{\circ}\text{C}$  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，致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度和湿度。在相对湿度  $\varphi$  相同的情况下（70%以上），室外空气温度在  $3\sim 5^{\circ}\text{C}$  范围时，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。当空气的相对湿度低于 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 为日本提出的某些空气源热泵结霜的室外空气参数范围<sup>[5]</sup>。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<sup>[6]</sup>。



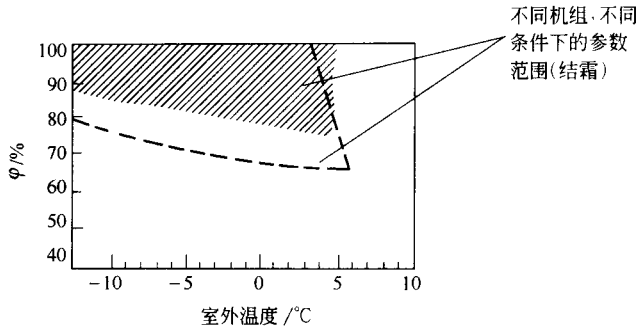


图 1-5 日本提出的空气源热泵结霜的室外空气参数范围

③ 空气的比热容小，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 m<sup>3</sup>/s（即 360m<sup>3</sup>/h）。

我国的气候涵盖寒、温、热带。按我国《建筑气候区划标准》（GB50178—93），全国分为 7 个一级区。其中Ⅱ区 1 月平均气温为 -10~0℃，年平均气温 <5℃ 的日数为 145~90d；Ⅲ区 1 月平均气温为 0~10℃，年平均气温 <5℃ 的日数为 90~0d；Ⅳ区 1 月平均气温为 0~13℃，年平均气温低于 5℃ 的日数为 0~90d。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。

### 1.3.2 水

水是优良的、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，这是因为水的比热容大，传热性能好，故传递一定热量所需的水量相对较少，换热设备的尺寸也可较小。水相对于室外空气来说，可以作为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℃ 以下，如上海黄浦江 1 月份的平均水温为 6.7℃，武汉长江 1 月份的平均水温也为 6.7℃（1983 年资料）。武汉东湖 1 月份平均水温为 3.1℃（1977~1979 年）<sup>[7]</sup>。深井水的水温一般约比当地年平均气温高 1~2℃。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/℃
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