

热泵

(联邦德国) H. 基恩 A. 哈登费尔特 著

第二卷

电动热泵的应用

Wärmepumpen

Band 2: Anwendung der Elektrowärmepumpe



2

本书为热泵多卷本的第二卷，译自联邦德国1979年的第三版。书中介绍了电动热泵的热源及其装置，热泵的热分配系统 单一热泵和双联热泵的结构及其运转 以及热泵在采暖、供应热水、空气除湿、蒸馏冷凝、热量回收和在建筑业、游泳池、工业、农业、商业等方面的实际应用；还特别列出了热泵运转费用的计算方法。本卷对电动热泵的阐述既有理论价值，又可供实际应用，是一本难得的参考书。

本书可供从事热泵设计、生产、安装和操作人员阅读，也可供制冷专业的师生参考。

Wärmepumpen

Band 2; Anwendung der Elektrowärmepumpe
von Herbert Kitnund Alfred Hadenfeldt
3 Auflage Verlag C.F. Müller Karlsruhe 1979

热 泵

第二卷 电动热泵的应用

〔联邦德国〕 H. 基恩 A. 哈登费尔特 著
耿惠彬 译

责任编辑：蒋有彩

封面设计：郭景云

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄晴居一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 850×1168 $1/32$ ·印张 12 $1/2$ ·字数 325 千字

1987年10月北京第一版·1987年10月北京第一次印刷

印数 0,001—1,860·定价：3.60 元

统一书号：15033·6780

译者的话

热泵是近年来人们重视的一项节能装置。如果用锅炉蒸气采暖，其效率仅力70%左右。采用电热，则还要考虑发电机组的效率。引用热泵装置，则无论是从低势热源吸取的热量，还是压缩机所消耗的能，都能转化成有用热量，因此采暖装置的效率大大提高。尽管热泵装置本身的结构比较复杂，但从节省一次能源出发，近年来各国热泵的发展还是比较显著的。

在我国，热泵技术也日益受到重视。1983年曾在北京召开了中国制冷学会低势热源与热泵技术学术会议，检阅了我国在这一领域中的研究成果，并指出必须进一步探讨通过热泵来提高热源利用率。

为了便于广大读者了解和应用热泵装置，联邦德国卡尔斯鲁厄米勒出版社编辑出版了热泵多卷本，从基础理论、结构设计、制造技术、操作保养到各种用途，分别用专卷作了论述。该丛书计划出版九卷，现已出版六卷（即第一、二、三、四、五、八卷），其余各卷正在编辑中。各卷名称分别为：

第一卷 导论和基础

第二卷 电动热泵的应用

第三卷 燃气机和柴油机热泵在建筑业中的应用

第四卷 电动热泵的安装、运转和保养

第五卷 热源和蓄热器

第六卷 低温采暖

第七卷 热泵在工业、商业和农业中的应用

第八卷 电动热泵用以供应热水

第九卷 吸收式热泵的应用

译者希望通过本多卷本的翻译出版，推动热泵技术在我国

发展。

热泵的应用正在逐渐扩展。目前采用热泵循环最多的是空调装置。许多窗式空调器夏季用于制冷，冬季则按热泵循环供暖。印染行业具有大量废水，利用吸收式热泵吸取废水的热量，可以节省制备高温印染用水所消耗的能量。在酿造业、制糖业和石油化工等行业，均可应用热泵装置，将蒸馏气体加以凝结，并同时产生新的加热蒸气。只要熟悉了热泵的工作原理，就能开拓新的应用领域。

译者在翻译过程中，虽着力于领会原著精神，但由于学识浅薄，不免有功力不到之处，尚祈读者不吝指正。

对翻译中给予帮助的各位同志，在此一并致谢。

译 者

1985年9月于上海

前 言

本书的第一版和第二版均为一卷本。在此期间，建筑设计和施工人员以及从事采暖设备的公司，对热泵装置以及有关热泵的文献越来越感兴趣。企业和研究单位不断进行技术开发，现已安装和正在运转的热泵装置，实际经验大量积累，对于这一装置的优点、特性、故障可能性和应用范围的知识更加完备，这样就无法在一卷书中囊括全部有关内容。从第三版起，本书即分成三卷[⊖]出版。

第一卷《导论和基础》，主要向读者介绍有关热泵技术的基础知识，其中涉及电动机、燃气机和柴油机驱动的压缩式热泵和利用热能的吸收式热泵（包括吸收式与再吸收式热泵）的理论基础，提供了关于同太阳能系统和潜热蓄热器等配合的知识，以及为理解热泵技术所需的重要的热力学基础知识。

第二卷《电动热泵的实际应用》。本卷既有理论价值，又可供实际应用。本卷的读者对象是从事热泵采暖、热水供应、空气除湿、热量回收以及建筑业和工、农、商等各部门的设计和安装人员。此外，还以许多实际例子提供了设计准则和年耗功系数、年能耗费用、年运转费用等数据的计算方法。

第三卷将论述燃气机和柴油机热泵的应用，并于1980年出版。

作者希望本书能给对热泵技术感兴趣的读者提供必要的知识，并有助于以尽可能廉价而易得的能源满足低温耗热的需要。

借此机会，对一切旨在进一步提高本书质量的批评建议，以及为本书提供图片和计算资料的公司表示感谢。

著 者 1979年11月

于卡尔斯鲁厄和汉堡

[⊖] 现已计划出版九卷，详见译者的话。——译者注

目 录

绪论	1
第一章 热泵采暖装置的工作原理与组成	2
第二章 热源	5
第一节 地下水	5
一、概论	5
二、水质局的许可	6
三、对地下水井装置的要求	7
四、井的老化	10
五、防止水井快速老化的措施	12
第二节 地表水	15
第三节 土壤	19
一、土壤的热负荷率	19
二、土壤的热过程	20
三、采暖居住面积	28
四、土壤热交换器型式	29
五、土壤-水热泵的应用范围	31
第四节 外界空气	32
一、外界空气热交换器种类	32
二、结冰	32
三、对气候的作用	33
四、外界空气热交换器的安装方式	33
第五节 太阳辐射热	37
一、借助于太阳能集热器	37
二、借助于太阳能吸热板	38
第三章 单一热泵	43
第一节 单一热泵的性能	43
第二节 冷侧装有蓄热器的外界空气-水单一热泵	45
一、工作原理	45

二、工作方式	45
三、蓄热器尺寸的确定	49
四、压缩机的选型	54
五、现有采暖装置的说明	54
第三节 以土壤作为附加蓄热器的外界空气-水单一热泵	55
一、采用过冷焓的方案	55
二、串联机组方案	56
第四节 斯托雷型外界空气-水单一热泵	56
一、原理	56
二、结构	58
第五节 GEA-哈佩尔型二级复迭单一热泵	59
第四章 双联热泵 (带辅助采暖设备的热泵)	61
第一节 运转方式	61
第二节 双联外界空气-水热泵的交替运转	63
第三节 双联外界空气-水热泵的并联运转	64
第四节 双联外界空气-水热泵并联运转时的设计示例	65
第五节 双联热泵的控制	68
第六节 一台双联热泵的构成	69
第五章 热泵采暖装置的热分配系统	73
第一节 概论	73
第二节 循环热水采暖时的放热设备	73
一、暖气包	73
二、板式放热器	77
三、对流器	79
四、热水地板采暖	87
第三节 热空气集中采暖	96
第六章 以热泵作为住房采暖机组	103
第一节 对建筑物的要求	103
第二节 热泵机组在建筑物中的布置	103
一、以地下水或土壤作为热源	103
二、以外界空气作为热源	104
第三节 噪声问题	105
一、机械噪声	105

二、空气噪声	105
第四节 作采暖和制冷运转的热泵机组	107
一、联邦德国的一般解决办法	107
二、法国的废气热泵	108
第五节 总装式热泵机组	110
第六节 电气调节和控制设备	114
第七节 热泵采暖装置参数的确定	116
一、冷凝器热流量 \dot{Q}_w	116
二、蒸发器热流量 \dot{Q}_0	116
三、热泵装置各参数的确定	116
四、在蒸发和冷凝温差变小时热流量 \dot{Q}_0 、 \dot{Q} 以及压缩 机消耗功率的变化	124
第八节 年需能量和年耗功系数的确定	134
一、影响值	134
二、年耗电量估算	134
三、当年耗功系数 β_1 未知时, 计算外界空气-水热泵的 年耗能量	135
第九节 电动热泵采暖装置年费用估算	146
一、概述	146
二、费用比较的前提	146
三、采暖装置年消耗费用的组成	147
四、电和燃料费用	148
五、辅助能量	170
六、操作和保养	172
七、修理	175
八、利息和还本费用	177
九、其它费用	183
十、每年的总费用	184
第七章 大型建筑物或建筑群的采暖	185
第一节 设计准则	185
第二节 大型独立建筑物采暖示例	186
一、联邦德国埃斯林根市薛尔兹托住宅群	186
二、斯特拉斯堡欧洲宫	187

三、卡尔斯鲁厄“森林之湖”体育宫	188
第三节 多间单独住房的采暖	195
一、基本原则	195
二、集中的热源装置和分散的热泵	196
三、以基本热泵作为集中热源，并在各住房或房间中 设置分散的小热泵	206
四、利用热泵供给和回收热量，并用另一系统分散补 充加热的集中通风装置	208
第八章 室内游泳池的采暖	211
第一节 计算基础	211
一、概述	211
二、湿空气的 $h-x$ 图	213
三、游泳池的水蒸发和需热量	215
四、待减湿空气的质量流量	217
五、蒸发器和冷凝器的热流量	217
六、空气减湿热泵装置计算示例	218
第二节 大型室内游泳池采暖的特点	221
一、新风量	221
二、循环风同新风的混合	221
三、新风混合计算示例	222
第三节 公共室内游泳池实例	224
一、苏黎世室内游泳池	225
二、布兰肯洛赫室内游泳池	227
三、哈乌萨赫室内游泳池	236
四、库本海因的充气帐篷游泳池、室外游泳池及太阳 能辐射的应用	237
五、菲尔斯霍芬（巴伐利亚）的设有室内游泳池、露 天游泳池和人造冰场的体育中心	240
第四节 私人室内游泳池和旅馆、学校游泳池	242
一、空气减湿	242
二、私人室内游泳池空气减湿和采暖装置计算示例	243
第九章 露天游泳池的热泵加热	250
第一节 概论	250

第二节 以外界空气作为热源	250
第三节 以地下水或地表水作为热源	254
一、热源性质	254
二、上哈默斯巴赫露天游泳池的水-水热泵装置实例	255
第四节 露天游泳池的最大每日需热量	257
第十章 干燥过程	261
第一节 概论	261
第二节 木材的热泵干燥装置	261
一、高温和低温干燥的区别	261
二、木材的热泵低温干燥法	262
三、干燥室的结构	263
四、起动加热指示器和热泵	263
五、减湿机组尺寸	264
六、热泵机组的结构型式	264
七、减湿机组的控制	265
第十一章 酿酒业用热泵装置	267
第一节 洗涤热的回收	267
第二节 酿酒和提纯用热泵装置	267
一、酿造过程	267
二、装置结构	268
第十二章 蒸馏过程用热泵装置	269
第十三章 饲养场的空调	270
第一节 概论	270
第二节 饲养场中以热泵作为采暖和供冷机组	270
第三节 饲养场空调装置的耗电	271
第十四章 采用热泵回收热量和应用制冷装置的废热	273
第一节 术语说明	273
第二节 热回收方法和系统	275
一、热交换器	275
二、热泵	279
第三节 通过热泵的热移动	281
一、应用大型热泵的热移动	282

二、应用小热泵的热移动	283
第四节 带排风热量回收的热泵	287
一、大型建筑通风、采暖和制冷用热泵机组	287
二、通风受控制的住房用热泵	298
三、带排风热量回收的空气-水热泵	299
第五节 制冷装置的废热利用	301
一、单独冷藏装置的废热利用	302
二、装在采暖房间中的冷藏装置废热的利用	312
第十五章 应用电动热泵供应日用热水	327
第一节 热水供应概论	327
第二节 热水和所需有用热量	327
第三节 热泵热水供应装置	330
一、利用设在采暖热水回路中的热水贮存加热器供应热水	330
二、利用过热焓供应热水	333
三、利用独立的热泵热水器供应热水	335
第四节 利用电动热泵供应热水的年费用估算	338
一、供应热水时热泵运转能量费用	338
二、修理费用	349
三、利息和还本费用	350
第十六章 房间空调器的热泵运转	354
第一节 房间空调器的结构和型式	354
第二节 应用作热泵运转的房间空调器采暖	356
第十七章 集中供热中的热泵装置	358
第一节 集中供热厂和热电厂	358
一、集中供热厂	358
二、热电厂	358
第二节 利用热泵回收冷凝式电厂的废热 (冷水集中供热)	360
一、电厂中的热泵装置	360
二、在用户处设置热泵 (冷水集中供热)	360
第三节 利用环境热作集中供热	363
第十八章 热泵的安全和使用技术要求	365
第一节 安全规定	365

第二节 氟利昂工质的管理	365
一、住房热泵中的工质	365
二、大气中的氟利昂工质	365
三、工质用钢瓶	365
第三节 土壤热交换器和埋于土壤中的热源装置管路的防电解腐蚀	366
符号表	367
参考文献	375

绪 论

到目前为止，采暖用的热量都是通过燃烧木材、煤炭、燃油或燃气等燃料获取的。有些燃料的形成经历了几百万年，承受着太阳辐射能的影响。燃烧放热，实质上是为现代人类释放长期贮存的太阳能。燃料燃烧时产生的高温热量，是高品位的能量，可以供各种不同的热力过程使用。此外，煤炭、燃油或燃气都是有价值的原料，可以借助于化学工业，生产日常用品和其他产品。

在将燃烧所释放的热量用于房间采暖时，这些热量将通过墙壁、窗户、屋顶和地板散发到大气中，并使大气也得到相应的加热。因此大城市中心的外界空气温度，最多可比空旷的四郊高7K左右。

热泵可在消耗高品位能量（例如电能）的条件下，由环境（外界空气、土地、地下水、河水等）吸取热量，并使其温度升高。即使以外界空气作为热源，自然界温度也不会因这种采暖方式而有所降低，因为从外界空气吸取的热量，又通过房屋结构散发到大气中，完成热量的循环。

本卷将对热泵技术的应用作详细的论述。在编写本卷时，我们假设读者已掌握第一卷所阐述的热泵与太阳能技术基础的要点。

第二卷中将不时引用第一卷中所载的图表和公式。为了便于查找，第一卷的图表和公式编号前冠以数字1，而第二卷的则冠以数字2。

第一章 热泵采暖装置的 工作原理与组成

在第一卷中对热泵的工作原理已作过详细论述。为复习起见，本章将扼要进行介绍。

图 2-1 所示为空气-水热泵装置的构造原理。在蒸发器 2 中，工质液体（相当于制冷装置中的制冷剂）在低压下蒸发，并从热源（例如外界空气）吸取蒸发热。压缩机 1 将相应的工质蒸气吸出，以便使蒸发器中保持与温度 ϑ_0 相应的压力 p_0 （见第一卷蒸气压力曲线）。压缩机将吸入蒸气压缩至最终压力 p ，工质蒸气在此压力下，在冷凝器 3 的温度 ϑ 下凝结，并同时将从蒸发器吸取的热量 Q_0 连同已转变成热量的压缩功 W ，一起作为有用热量 Q 输出。冷凝器 3 的温度，应略高于热分配系统 5（例如地板采暖系统）的热水供给温度，以便将冷凝器热量传给采暖用热水（见

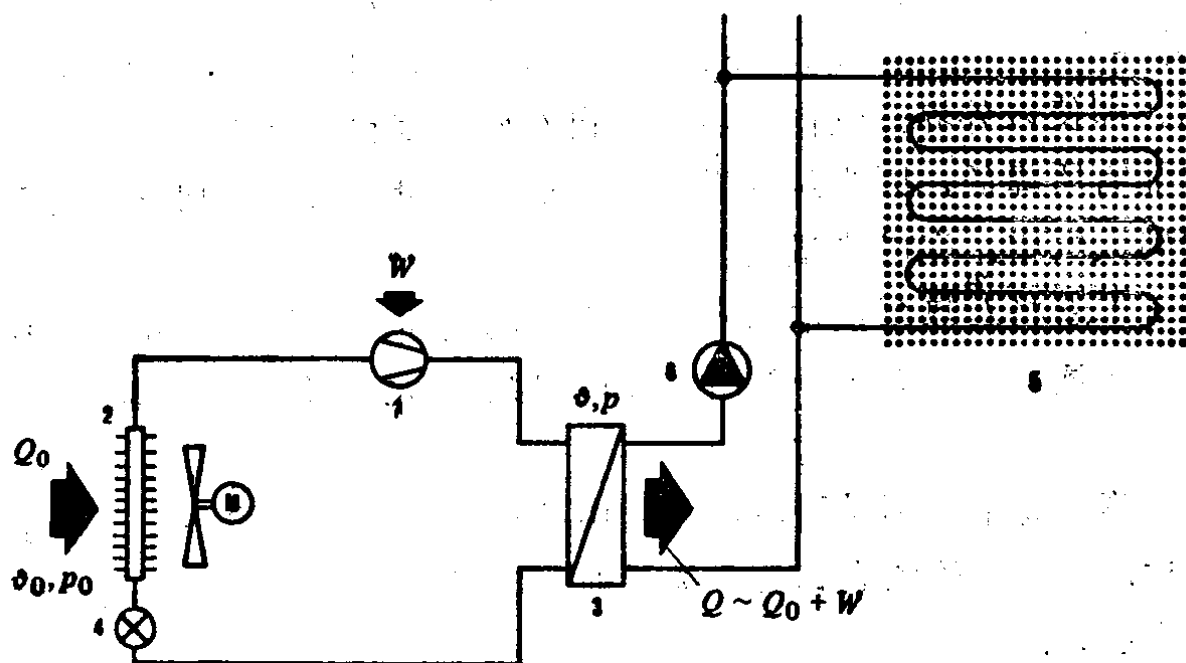


图2-1 空气-水热泵装置的构造原理

- 1—压缩机 2—蒸发器 3—冷凝器 4—节流阀 5—低温采暖系统
6—循环泵

第一卷热交换器)。根据同一原理,蒸发器 2 的温度应略低于热源温度。

来自冷凝器 3 的工质液体,流向节流阀 4,后者使工质液体的压力从冷凝压力 p ,膨胀到蒸发压力 p_0 ,并进入蒸发器 2。于是工质重新开始循环。

因此,热泵就是用于吸取低温热源热量,并在消耗高品位能量的情况下,提高上述热量温度,从而将低温热源热量连同转变为热能的压缩功,一起作为高温有用热量输出。有用热流量 \dot{Q} 和所消耗的驱动功率 P 之比,称为供热系数 ϵ 〔式(1-1 b)〕;所得的年采暖热量 Q_j 和整个热泵装置(不包括循环泵 6)所消耗的高品位能量或功之比,称为耗功系数 β_j 〔式(1-1 c)〕:

$$\epsilon = \frac{\dot{Q}}{P} \text{ 即国际通用符号 COP (性能系数)}$$

$$\beta_j = \frac{Q_j^\ominus}{\Sigma W_j} \text{ 即国际通用符号 SPF (效能比)}$$

有用热量和所消耗的一次能源能量之比,表示采暖系数 φ 〔式(1-0)〕

$$\varphi = \frac{Q_j}{E_j}$$

式中 ΣW_j ——驱动压缩机、循环水泵和外界空气风机所消耗的能量,以及压缩机油底壳加热所消耗的能量之和;

E_j ——一次能源所含的能量。

图2-2列出了构成热泵采暖装置的各个元件,其中主要有:

(1) 热源装置 4,有时带蓄能器(例如地下水抽水井与回灌井、地下水泵等);

(2) 热泵 3,包括压缩机、辅助设备及冷侧和热侧的热交换器(例如总装式热泵);

(3) 热分配装置 8,有时设置供热蓄热器(例如热水地板采暖设备)。

以上三个元件组成热泵采暖装置 9。

⊖ Q_j , 原文为 $Q_{N_{0.12j}}$, 不妥。——译者注

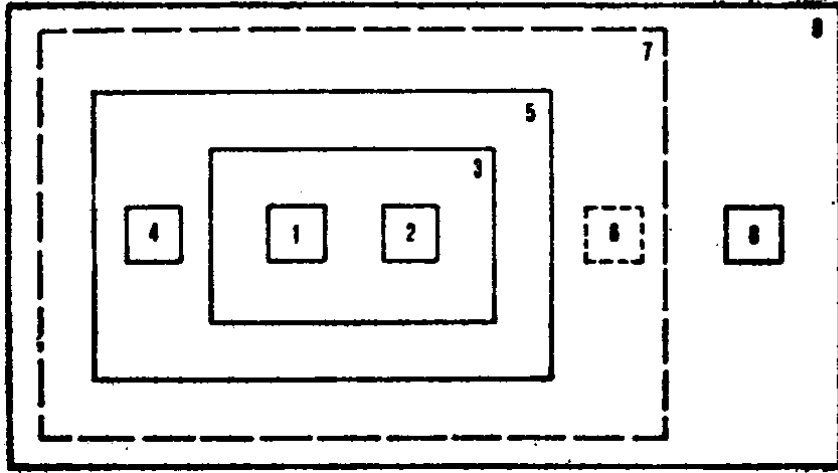


图2-2 热泵采暖装置简图

- 1—压缩机（包括驱动装置与工质的循环设备） 2—热泵辅助设备
 3—热泵 4—热源装置（有时带“冷侧”蓄热器） 5—热泵装置
 6—供热蓄热器（按需设置） 7—设有供热蓄热器的热泵装置
 8—热分配装置（热汇） 9—热泵采暖装置

第二章 热 源

热泵通常可采用下列热源：1) 地下水；2) 河水或湖水等
地表水；3) 土壤热；4) 外界空气；5) 太阳辐射热；6) 废热。

表2-1列出了各种热源的性质。

表2-1 热源的评价准则

热源种类		地下水	土 壤	地表水	空 气	太 阳 能
热源	最高	15℃	12℃	15℃	15℃	根据集热器 种类不同而为 50~80℃
温度	最低	6℃	按表面单位 热负荷的不同 而为0~8℃	0℃	根据各地区 气候不同而为 -12~+18℃	和外界空气 一样-12~ -18℃
温度与气候 (即建筑物所 需热量)的关 系		几乎可忽略 不计	随所在深度 不同而略有 时间上的延 迟	时间上有延 迟甚至可结 冰, 只能双 联运转	完全有关	巨大
是否随时可 得		几乎无限制	冬天土壤的 单位热负荷 可达很大	有限制, 严 寒时水温低, 甚至结冰	受限制, 在 外界温度较 低时, 通常 为双联运转	性能差
是否随处可 得		受到严格限 制, 需要当 局许可	取决于土壤 块的大小和 位置	受到强烈限 制	无限制	取决于可安 置集热器的 屋顶或墙面

第一节 地 下 水

一、概论

在地下 10m 深处的地下水，一年之中温度平均约为 10℃，变化很小。但是根据抽吸地下水的井位和井深的不同，冬季地下水温约为 8~12℃，夏季约为 10~14℃。鉴于地下水的资源丰富，质量又好，而且抽水所需的井深有限，因此可以认为，地下水是温度特别适合于热泵运转需要的热源。