

〔联邦德国〕 赫贝特·尤特曼 著

热泵

第三卷

燃气机和柴油机热泵在建筑业中的应用

Wärmepumpen

Band 3: Anwendung der Gas- und
Dieselwärmepumpe in der Haustechnik

3

热 泵

第 三 卷

燃气机和柴油机热泵 在建筑业中的应用

〔联邦德国〕 赫贝特·尤特曼 著

耿惠彬 译



机械工业出版社

热泵是近年来得到人们重视的一项节能技术, 发展比较快。通过热泵, 可以变低势热为有用热, 或将原来不能利用的热量重新加以利用, 提高热量的使用效果。

本书是热泵多卷本中的第三卷。书中论述了内燃机原理、各种机型、废气涡轮增压、燃料种类、工作寿命、噪声、有害物的排放以及废热的利用。同时详细说明压缩式热泵的结构、保养和经济性、年需热量的确定、应用实例、吸收式热泵以及各种新型发动机驱动的热泵。

本书可供从事制冷工作的工程技术人员和大专院校制冷专业的师生参考。

Wärmepumpen

Band 3: Anwendung der Gas-und

Dieselmärmepumpe in der Haustechnik

Von Herbert Juttemann

Verl g C. F. Müller Karlsruhe, 1981.

* * *

热 泵

第 三 卷

燃气机和柴油机热泵

在建筑业中的应用

〔联邦德国〕赫伯特·尤特曼 著

耿惠彬 译

*

责任编辑: 蒋有彩 版式设计: 张世强

封面设计: 郭景云 责任校对: 熊天荣

*

机械工业出版社出版 (北京皇城根外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $7 \frac{1}{4}$ · 字数 183 千字

1989 年 6 月北京第一版·1989 年 6 月北京第一次印刷

册数 0,001—1,290 · 定价: 7.00 元

*

ISBN 7-111-01241-0/TK · 56

译者的话

电动热泵在我国家用空调器和若干工艺装置（如干燥装置、蒸馏装置）中得到了应用，但是内燃机热泵则还处于方案探讨，至于实际运转的装置那还比较罕见。但是内燃机热泵对于那些无电、缺电而燃油或燃气供应又比较宽裕的地区，特别是油田和独立建筑物，有特别的吸引力。热泵可以充分回收内燃机的废热，使整个装置效率大大提高。译者希望通过本卷的出版，对于内燃机热泵在我国的推广起到抛砖引玉的作用。

近年来国际石油价格的急剧下跌，缓解了人们对能源昂贵和短缺的担心，因而影响了对热泵这一节能技术的研究。但是无论从长远来看，还是从中国目前的情况出发，节能仍然是一项重要的政策。可以设想，热泵技术肯定会持续向前推进。

本书作者赫贝特·尤特曼早年从事电网供电设计。1962年起，在书刊上大量发表有关电采暖的论著。后期从事热回收、热泵和太阳能装置专业工作。现在卡尔斯鲁厄从事上述三种装置的设计指导和审核批准工作，是这方面的知名人士。

译者才疏学浅，又困于时间紧迫，谬误与不当之处，尚祈读者不吝指正。

译者于上海 1987年9月

序 言

“热泵”多卷本的第一卷在很短时间内出到了第五版，受到了读者的热忱欢迎。由本书购买者的来信、评论和饶有兴味的个别交谈中可以发现，读者对书内容的兴趣是截然不同的。一部分读者希望了解有关热泵和太阳能基础以及应用范围的知识；另一部分则更着重实际应用，企图获得热泵装置设计和安装方面的指导。

因此值得将整个内容分成若干卷出版，其中每一卷都针对某一群读者的需要。我们希望“热泵”多卷本能够适应专业界的需要和要求。

第三卷的作者赫伯特·尤特曼先生，不辞辛劳致力于编写第一本内容丰富的有关内燃机驱动热泵书籍，借此机会对他表示深切的谢意。

出版者于卡尔斯鲁厄

1981年2月

前 言

虽然内燃机热泵实际安装使用还没有几年,但是在节能措施方面已经占据了一定的位置。现在设计大型建筑物时,总要考虑热泵技术。

投资费用大的缺点同节能显著的优点相抗衡。在建筑物采暖方面,在供热量相同的情况下,它所需要的一次能源只有锅炉装置的一半。

现在热泵装置的每一种驱动方式都有其存在的必要。本卷中避免了同电动热泵的争辩。最终这二种驱动方式,都将在市场上获得相应的位置。

第一卷论述热泵与太阳能技术的基础。该卷除阐述电动热泵外,还介绍其它原动机驱动的热泵和吸收式热泵,并扼要介绍了热力学基础。因此第一卷主要奉献给那些对理论原理感兴趣的读者。

第二卷介绍电动热泵的应用。主要内容是热源、采暖系统、低温热分配装置、采暖费用计算、总体装置尺寸的确定等。同时也阐明了游泳池供热、木材干燥装置、蒸馏装置等特殊用途。

第三卷同上述第一卷和第二卷紧密相联。为了便于迅速判別图、表和公式出自哪一卷,第一卷中的图、表和公式号加前置序号1,第二卷加前置序号2,第三卷加前置序号3。

在编写本卷时遵循了一条准则,即第三卷的读者即使不了解其他各卷的内容,也能读懂第三卷。因此对热泵本身也作了简要说明。在论述特定的问题时,也引用了其他各卷。

本书并不考虑只作为教科书。同时也设想为设计人员提供指导。因此用表格汇总了他们所需要的数据,许多场合还附有计算例题。本书中也有对操作人员有用的内容。

最后，许多学者审阅了本书的手稿，作者对此深表谢意。曼海姆地区的F.扎哈里亚斯博士，就内燃机和斯蒂林发动机的有关章节，提了不少有益的建议。道尔斯顿地区的鲁尔燃气公司供给了热泵装置图。出版者H.基恩教授承担审校全部手稿，并提供许多值得重视的意见。作者于此一并致谢。

赫贝特·尤特曼

于卡尔斯鲁厄

1981年2月

目 录

第一章 概论	1
第一节 一次能源的节省	1
第二节 燃气的供应	2
第三节 石油的供应	3
第二章 内燃机概念和基本量	4
第一节 工作过程分类	4
第二节 结构型式	5
第三节 按转速分类	6
第四节 过量空气系数	6
第五节 内燃机充量比	6
第六节 活塞平均速度	7
第七节 效率	7
第八节 活塞压力	8
第九节 轴功率	9
第十节 联轴器扭矩	10
第十一节 燃料消耗	10
第十二节 发动机的单位热量消耗量	11
第十三节 单位功率重量	11
第十四节 等燃料供给量时的运转状态	11
第十五节 转速不变时的运转特性	13
第三章 驱动热泵用的内燃机种类	15
第一节 柴油机	15
一、工作过程	15
二、喷油泵	17
三、点燃	17
四、过量空气系数	18
五、混合气形成	18
六、压缩比	20

七、功率调节	21
第二节 汽油机	21
一、特征	21
二、爆燃	22
三、过量空气系数	22
四、压缩比和效率	23
五、功率调节	23
第三节 燃气机	23
一、由汽油机改为燃气机	23
二、混合气形成	23
三、燃气机在柴油机基础上的发展	24
第四节 燃气柴油机	24
一、工作方式	24
二、燃气机和燃气柴油机过程比较	25
第四章 废气涡轮增压	26
第一节 概论	26
第二节 不用废气的增压过程	26
第三节 废气涡轮增压	27
第四节 定压增压	27
第五节 脉冲增压	28
第六节 增压空气冷却	28
第七节 采用制冷装置的增压空气冷却	29
第八节 增压空气的涡轮膨胀冷却	30
第九节 燃气机的米勒过程	31
第十节 用废气涡轮增压提高功率	32
第十一节 增压空气冷却器冷却水热量的利用	32
第十二节 废气涡轮增压对热泵原动机的意义	33
第五章 燃料种类及其使用	34
第一节 柴油机燃料	34
第二节 气体燃料	35
一、燃气的抗爆燃性	35
二、发动机和燃气种类	35

三、天然气	36
四、液化气	38
五、生物气	39
六、沼气	40
第三节 燃料的使用	40
一、燃料消耗量	40
二、燃料消耗率	40
第四节 年燃料消耗量的计算	44
一、燃料消耗率已知	44
二、热量消耗率已知	45
三、有效效率已知	45
第五节 年能量消耗量的计算	46
第六章 使用寿命	47
第一节 概论	47
第二节 两次大修之间相隔的时间	47
第三节 若干零件的寿命	48
第七章 噪声	50
第一节 噪声的计量	50
第二节 内燃机的声压级	51
第三节 发动机的降噪	51
第四节 消声器	52
第五节 空气噪声的降低	53
第六节 机体噪声的降低	54
第七节 满足对环境噪声的要求	54
第八章 有害物质的排放	56
第一节 概论	56
第二节 单位	56
第三节 二氧化碳 CO_2	58
第四节 一氧化碳 CO	59
第五节 烃 C_mH_n	60
第六节 氧化硫 SO	61
第七节 氧化氮 NO_x	61

第八节 醛 $R \cdot CHO$	62
第九节 烟和烟灰	62
一、概论	62
二、烟度的测量	62
第十节 空气净化技术规程的规定	64
一、排烟	64
二、氧化氮的侵入和排放	65
第九章 发动机散发的热量及其利用	67
第一节 发动机的冷却方式	67
一、概论	67
二、普通冷却	67
三、高温水冷却	69
四、带膨胀蒸发器的热水冷却器	69
五、沸腾冷却	70
六、空气冷却	71
第二节 废气热量的应用	73
第三节 燃烧空气的冷却	74
第四节 满载时的热平衡	74
第五节 部分负荷下的热平衡	77
第十章 压缩式热泵	79
第一节 概论	79
第二节 供热系数 ϵ	80
第三节 耗功系数 β	82
第四节 采暖系数 φ	82
第五节 由热源所取的热量	85
第六节 不同热泵的驱动功率之比	85
第七节 热量的供给	87
一、只供给热水	88
二、发动机废热的特殊应用	88
第八节 热源	91
一、地下水	91
二、外界空气	93

三、土壤	99
四、太阳能	99
五、地表水	100
第九节 热泵装置也作制冷机运转	100
第十节 排风热泵	102
第十一节 压缩式热泵和吸收式热泵的联合运转	104
第十二节 压缩机	105
一、活塞式压缩机	105
二、螺杆式压缩机	107
三、离心式压缩机	110
第十三节 内燃机和热泵压缩机之间的联接	110
第十四节 基座和底架的载荷	111
第十五节 带多台内燃机热泵的装置	112
第十一章 应用应急发电机组的可能性	114
第一节 应急发电机组同热泵的联接	114
第二节 热泵的电力传动	118
第三节 多台应急发电机组和热泵的运转	119
第四节 同公共电网无关	120
第十二章 保养和检查	121
第一节 概论	121
第二节 更换润滑油	121
第三节 进气过滤器	122
第四节 润滑油系统过滤器	122
第五节 燃料系统过滤器	122
第六节 点火设备	123
第七节 喷油设备	123
第八节 气阀	123
第九节 活塞	124
第十节 废气涡轮增压器	124
第十一节 其它保养工作	124
第十二节 保养间隔时间	125
第十三节 小修	125

第十四节 大修	125
第十五节 检查	126
第十三章 年需热量的计算	127
第一节 需热量曲线	127
第二节 利用外界温度分布曲线计算锅炉装置的年需能量	130
第三节 单一和并联运转内燃机热泵年需能量的计算	134
一、供热系数同外界温度的关系	134
二、冷凝温度随热源温度上升而升高	135
三、年需能量的表格计算法	138
第四节 无辅助锅炉的单一运转的内燃机热泵	141
第五节 因制冷时产生热量而减少年需能量	142
第十四章 经济性	144
第一节 投资费用	144
一、锅炉装置	144
二、燃气发动机热泵	144
三、柴油机热泵	146
四、关于投资费用的讨论	146
第二节 修理和保养管理费用	147
一、保养管理费用	148
二、全保养合同	148
三、与投资有关的费用	148
第三节 运转费用	149
一、燃料费用的计算	149
二、辅助驱动装置的能源	152
三、润滑剂	152
第四节 价格比较计算	152
一、型式比较	152
二、考虑每年能源价格上涨的年金法	154
第五节 投资津贴法	159
第十五章 装有燃气发动机热泵的建筑设施实例	160
第一节 室外和室内游泳池	160
一、多特蒙德-惠灵霍芬地区室外游泳池	161

二、慕尼黑市丹特游泳池	162
三、海尔布隆市“健康”室外游泳池	162
四、其他游泳池(室外和室内游泳池)	163
第二节 人造冰场和游泳池联合装置	164
第三节 体育中心	165
一、帕德博恩地区游泳和体育馆	166
二、阿尔滕孔斯塔特训练和体育中心	166
第四节 公寓建筑	168
一、波鸿-格尔特地区的住宅	168
二、多特蒙德-布拉凯尔地区的住宅	170
第五节 办公用房	171
一、多特蒙德地区惠斯特法远方燃气公司办公楼	173
第六节 独家住宅和二家合用住宅	173
第十六章 吸收式热泵	177
第一节 概论	177
第二节 吸收式热泵的工作循环	177
第三节 吸收式热泵的基准循环	179
第四节 热力系数	180
第五节 $\lg p - \frac{1}{T}$ 图	182
第六节 工质对	184
一、氨-水	184
二、水-溴化锂	184
三、其它工质对	184
第七节 以外界空气作为热源的吸收式热泵的特性	185
第八节 采暖系数	185
第九节 吸收式热泵在住房方面的应用	186
第十节 大型装置	187
第十七章 克劳修斯-郎肯循环原动机	188
第一节 克劳修斯-郎肯循环	188
第二节 工质	189
第三节 水和一种有机工质间的比较	192
第四节 主要用途	192

第五节 克劳修斯-郎肯循环活塞式发动机	192
第六节 克劳修斯-郎肯循环涡轮机	193
第十八章 驱动热泵用的斯蒂林发动机	197
第一节 斯蒂林发动机的工作原理	197
一、动力活塞和配气活塞之间的机械联接	197
二、自由活塞发动机	198
第二节 驱动热泵用的自由活塞发动机	202
第三节 带周转轴的斯蒂林发动机	202
第四节 对斯蒂林发动机热泵的评价	205
第十九章 燃气轮机热泵	206
第一节 概论	206
第二节 工作原理	206
第三节 功率范围	207
第四节 单轴燃气轮机	207
第五节 双轴燃气轮机	207
第六节 燃气轮机热泵系统	207
第七节 热平衡	207
第二十章 煤粉发动机	210
第一节 历史回顾	210
第二节 宇宙机器制造厂的煤粉发动机	210
第三节 点燃迟后	211
第四节 1975年以来的进展	211
参考文献	212

第一章 概 论

第一节 一次能源的节省

最近几十年来，能量的消耗急剧增长，但其来源，特别是石油的来源却受到相应的限制。因此可以预见，能源将出现短缺，至少也将十分昂贵。这就促使我们采取必要的对策，其中有：

1. 采用新的能源（例如太阳能、风能等）；
2. 加强房屋隔热设施，减少房屋所散失的采暖热量；
3. 回收通风装置排风和房屋排水所带走的热量；
4. 应用由一次能源发电时所排放的热量；
5. 通过热泵应用环境热量。

一次能源消耗得多的场合，采取节能措施意义就大。在联邦德国，一次能源的80%用于房屋采暖，因此节能问题值得注意。

为了达到上述节能目的，可以采取许多措施，其中之一是应用内燃机热泵。内燃机热泵的燃油或燃气消耗量，只有锅炉的一半左右，两者相差很大。因此就节能而言，用一次能源直接驱动的热泵，具有明显的优势。

内燃机热泵与锅炉相比，运转费用较低，但初投资则较高。因此，燃气或燃油的价格越昂贵，节能的效果就越可观。

如果建筑物本来就需要空调，则采用内燃机驱动的热泵就特别有利。此时热泵还可作为制冷机运转，只是内燃机热泵的投资比通常所用的电动制冷机稍昂贵些。

燃气的来源比石油方便，而且燃气机排气的有害成分比柴油机少。这样，在内燃机热泵中，将优先采用燃气机。

在没有铺设燃气管道之处，还应重视柴油机热泵。虽然柴油机热泵采用石油，但在有效功率大于100kW时，其效率可达35~40%，而且通过热泵，从周围环境吸取热量，因此采用柴油机热

泵就更为有利。

即使到了2000年,柴油虽然昂贵,但还是有供应的。到了那个时候,国民经济是否可引用新的供热方案还不得而知。所以,柴油机可以沿用相当一段时间。

随着额定采暖量的减小,内燃机热泵同锅炉装置售价之差增大。以目前价格而论,当采暖量大于500kW时,内燃机热泵与锅炉装置相比占有竞争优势。在一定的有利条件下,当采暖量小于170kW时,也可使用内燃机热泵。将来这一极限值还将下降。因此,以下的论述,主要针对额定采暖量大于170kW的内燃机热泵。

第二节 燃气的供应

关于燃气(天然气)的供应,现在有许多数据报告,其中引用了不同的能量单位。能量单位的换算列于表3-1中。

表3-1 能量单位的换算

(1kg标准煤(SKE) = 7000kcal = 29300kJ)①

	换算关系			石油	燃气
	$10^6 \text{ kW} \cdot \text{h}$	Mt标准煤	PJ	$H_u = 42500 \text{ kJ/kg}$	$H_u = 33500 \text{ kJ/m}^3$ ②
$1 \text{ PJ} = 10^6 \text{ GJ} = 10^{12} \text{ kJ}$	277.7	0.0341		0.0235Mt	29.85 Mm^3
1Mt标准煤	8136.6		29.3	0.688Mt	874.6 Mm^3
$10^6 \text{ kW} \cdot \text{h}$		0.123	3.6	0.0846Mt	107.5 Mm^3

① 此外还有原油单位(RÖE) $1 \text{ kg RÖE} = 9000 \text{ kcal} = 41870 \text{ kJ}$ 。

② m^3 为标准情况下的米³,简称标米³,下同。——译者注

世界上已探明的天然气储量为712000亿 m^3 (2380000PJ = 810亿t标准煤)〔3〕,目前为止估计储量约为1630000亿 m^3 (5460000PJ = 1860亿t标准煤)〔4〕。

当今世界每年需要量约为15000亿 m^3 (50300PJ = 17.1亿t标准煤)〔3〕。