

热泵技术手册

REBENG JISHU SHOUCHE

● 陈东 主编 谢继红 副主编

第2版



化学工业出版社

热泵技术手册

REBENG JISHU SHOUCHE

● 陈东 主编 谢继红 副主编

第2版



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

热泵技术手册/陈东主编. —2 版. —北京: 化学工业出版社, 2018.12

ISBN 978-7-122-33127-4

I. ①热… II. ①陈… III. ①热泵-技术手册
IV. ①TH3-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 230480 号

责任编辑: 周 红
责任校对: 边 涛

文字编辑: 张燕文
装帧设计: 韩 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 35¼ 字数 927 千字 2019 年 2 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 168.00 元

版权所有 违者必究



序

20世纪50年代,我国热泵技术的创始人天津大学吕灿仁教授就开展了我国热泵的最早研究。学术界公认1956年吕灿仁教授的《热泵及其在我国的应用前途》是我国热泵研究现存的最早文献。吕教授在文中指出:我国是大陆性季风气候,冬寒夏炎。中国气候条件决定应用热泵技术的必要性,江河湖海中存在可开发利用的能量。从那个时候起热泵技术在我国随着政治和经济形势的变化,经历了初期理论研究、自力更生式的工程实验、以高校研究生培养为主线的系统研究、学习引进国外先进技术、国内大批量生产和大规模推广应用阶段。今天吕灿仁教授所有的预见都已经实现,中国已经成为世界上热泵生产量最大、制冷热泵行业从业人数最多、应用最多和范围最广的国家,热泵节能技术已经深入到各行各业。

由天津科技大学陈东教授主编,若干高校中青年学者们编写的《热泵技术手册》,是我国热泵理论和实践在新世纪的阶段性总结。作者们汇总了大量的有关热泵技术的基础数据和资料,包括了热力学、传热学和流体力学等基础理论,全面收集了与热泵有关的工质与材料的数据,对压缩机、换热器、节流部件参数以及热泵装置的设计资料作了详细的表述,并给出了大量的热泵应用实例。其内容之丰富和实用,可称为我国热泵类书中的代表性著作。可以预见,《热泵技术手册》的出版将对推广和规范热泵技术起到重要的促进作用,使热泵节能技术在我国节能减排工作中发挥巨大的作用。

马一太



前言

《热泵技术手册》(以下简称手册)第1版出版后,收到各领域读者的热情反馈,提出很多中肯的意见或建议,为进一步优化手册内容,及时反映热泵技术近年的新进展,我们对手册第1版内容进行了调整补充和完善。

手册第2版主要做了如下工作:删除了第1版中部分偏基础的内容,订正了所发现的错漏或表述模糊之处,补充了近年新实施的热泵相关的国家标准简介,新增了热泵技术进展、热泵蒸发装置设计、热泵膜分离装置设计、热泵应用进展等章节。

手册第2版仍包括5篇,分别为设计基础资料、热泵材料、热泵部件、热泵装置设计、热泵应用实例。

第1篇主要包括典型热泵特点及相关国家标准简介,流体力学、热力学、传热学基础资料。

第2篇主要包括热泵工质、热泵工质对溶液的基础资料。

第3篇主要包括压缩机、冷凝器、蒸发器、发生器、吸收器、喷射器、节流部件以及常用辅助部件的基础资料和选型或计算示例。

第4篇主要包括基本热泵及其技术进展、热泵空调装置、热泵热水装置、热泵干燥装置、热泵蒸发装置、热泵膜分离装置的设计基础资料、设计方法和设计示例等。

第5篇主要包括热泵在民用、工业、农林、水产、交通、能源资源等行业领域的应用实例及应用进展,应用实例中介绍了相应的技术方案、经济效益、环境收益等。

手册第2版具有如下特点:

- 全面。全书涵盖了热泵设计和应用所需的基础资料、典型热泵及其应用装置、多个行业领域的代表性应用实例。

- 先进。书中介绍了反映热泵技术和应用的前沿进展,如常压吸收式热泵、中高温热泵、MVR热泵应用装置、介质循环型常压低温热泵蒸发装置、热泵渗透汽化膜分离装置、热泵膜蒸馏装置、热泵驱动溶液除湿空调等。

- 实用。书中包括四十余项热泵相关国家标准简介,二百余种热泵工质的基本物性数据,二十余种热泵部件的计算公式、图、表及选型或计算方法,二十余种典型热泵装置的设计示例,以及热泵在三十余个行业领域中具有先进性和代表性的应用实例。

手册可为工程技术人员和市场营销人员掌握、应用和推广热泵技术提供丰富的数据资料和实例参考,也可作为大学本科高年级学生和研究生的参考资料。

手册第2版新增内容中,热泵技术进展(第10.4节)、热泵蒸发装置设计(第14章)由天津科技大学陈东编写,热泵国家标准简介(第1.3节)、热泵膜分离装置设计(第15章)、热泵应用进展(第21章)由天津科技大学谢继红编写,全书由陈东统稿。

在手册第2版编写过程中,北京工业大学彭跃莲教授在膜蒸馏和渗透汽化膜分离方

面给予了很多建议和帮助；此外，刘荣辉、闫赞扬、李银星、金程、雷学俭、樊佳琪、尹龙升、宋金柱、曹莹莹、雷文芳、孙雪琛、杜国昊、张显明、周鑫源、李涛等也在资料收集和整理方面做了很多工作，在此一并表示诚挚的感谢。

由于手册涉及学科领域众多，作者知识面和水平有限，不妥之处在所难免，敬请广大读者斧正（电子邮箱：chendong@tust.edu.cn）。

编者

第一版 前言

能源是经济和社会发展的重要支撑，能源紧缺是我们必须面对和解决的基本问题。

我们身边就蕴藏着容量巨大的能源——环境热能。在环境空气中、土壤中、水源中（地下水、海水、江河水、生活及工业废水等）均蓄含着热能，但由于其温度接近环境温度，难以在生产和生活中被利用。

热泵是利用少量驱动能源，把大量低温热能变为高温热能的装置。

利用热泵，就可把无用的环境热能变为可用热能，制取生产和生活中所需的热空气、热水等；热泵的应用和推广，就相当于打开了环境热能这个容量无限、随处可用、随时再生的全新能源宝矿。

热泵发展的基本方向是实用适用、性能先进、质量可靠、价格适中，这有赖于工程人员对热泵及其相关技术的全面把握；在热泵设计和应用中很需要一本能涵盖基础数据资料、热泵设计方法、热泵应用经验的综合性技术手册，本书正是基于这一目标而编写的。

全书包括五篇，分别为设计基础资料、热泵材料、热泵部件、热泵装置设计、热泵应用实例。

第一篇为设计基础资料，包括典型热泵特点及相关国家标准简介，驱动能源、低温热源以及流体力学、热力学、传热学数据资料。

第二篇为热泵材料，包括热泵工质及工质对溶液、载能介质、管路材料的数据资料。

第三篇为热泵部件，包括压缩机、冷凝器、蒸发器、发生器、吸收器、喷射器、节流部件以及常用辅助部件的数据资料和选型或计算示例。

第四篇为热泵装置设计，包括基本热泵、热泵空调装置、热泵热水装置、热泵干燥装置的设计基础资料、设计方法和设计示例等。

第五篇为热泵应用实例，包括热泵在民用、工业、农林、水产、交通、能源等行业领域的应用实例，给出了相应的技术方案、经济效益。

总体而言，本书具有如下几个特点：

- 全面。全书基本涵盖了热泵设计和应用所需的技术资料。
- 系统。书中篇章安排与热泵设计流程一致，便于数据资料查阅。
- 翔实。书中包括二十余项现行热泵相关国家标准摘要，十余种驱动能源及六类低温热源数据资料，二十余种常用热泵工质及其溶液的综合资料和二百余种工质的基本物性数据，十二种热泵系统管路的数据资料，二十余种热泵部件的计算公式、图、表及选型方法，十五种典型热泵装置的设计示例，以及热泵在三十余个行业领域的应用实例。
- 实用。书中数据资料具有较好的工程应用基础和可靠性，应用实例具有较好的先进性和代表性；为便于掌握典型热泵材料、热泵部件及热泵装置的设计和应用方法，在

给出数据资料的同时，也给出了详细的选型或计算示例。

手册可为工程技术人员和市场营销人员掌握、应用和推广热泵技术提供丰富的数据资料和实例参考，也可作为大学本科高年级学生和研究生的参考资料。

手册第一章和第二章由天津科技大学李桂水编写，第三章和第四章由天津科技大学张秀棉编写，第五章和第十五章由天津工业大学李新禹编写，第六章和第十八章由天津城市建设学院杨俊兰编写，第十六章由天津商业大学刘圣春编写，第十七章由华北水利水电学院李满峰编写，第七章、第八章、第九章、第十章、第十九章、第二十章、第二十一章、第二十二章由天津科技大学谢继红编写，第十一章、第十二章、第十三章、第十四章由天津科技大学陈东编写，全书由陈东统稿。

在手册编写过程中，得到了天津大学吕灿仁教授的热情关心和鼓励；天津大学马一太教授给予了诸多具体的指导，并为本书作序；中国科学院理化技术研究所杨鲁伟研究员对书稿进行了审阅，并提出了许多有价值的建议；天津科技大学卢晓江教授、师晋生副教授、李建国副教授、赵丽娟副教授、唐洪涛副教授、朱恩龙副教授、苏萍副教授等在素材提供和疑难解决方面提供了许多帮助；此外，陈逢胜、刘荣辉、许树学、乔木、周修茹、苏立娟、尹海蛟、刘冬雪、侯艳辉、胡涛、曲敬儒、王丽焕、王刚、李建平、郝建华、孔德雨、曹雯莉、项永、王春虎、陈文放、李伶俐、王悦、郝维维、时祥、田雅颂、黄善善、楼文君、于乐、王小勇、杨旭凯、孙志坚、刘江彬、宋力钊、饶志明、李叶等也为本书完成做出了有益的工作，在此编者对他们一并表示诚挚的感谢。

由于作者水平有限，手册涉及学科领域较多，不妥之处在所难免，敬请广大读者斧正（电子邮箱：chendong@tust.edu.cn）。

编者

第 1 篇 设计基础资料

第 1 章 热泵简介	2
1.1 热泵特点及相关术语	2
1.2 热泵原理及基本类型	5
1.3 热泵国家标准简介	9
第 2 章 流体力学基础资料	16
2.1 流体流动基本方程	16
2.2 流体流动阻力计算公式	16
2.3 沿程阻力系数计算公式	19
第 3 章 热力学基础资料	20
3.1 常用热物性及单位换算	20
3.2 热力学基本定律	22
3.3 典型介质热力特性	25
第 4 章 传热学基础资料	33
4.1 传热方式及其计算公式	33
4.2 传热过程及其计算公式	40
4.3 换热器相关计算公式及数据	43

第2篇 热泵材料

第5章 热泵工质 53

- 5.1 热泵工质的要求及分类 53
- 5.2 热泵工质的安全与环境特性 54
- 5.3 热泵工质的基础物性 58
- 5.4 热泵工质的选用与设计 63
- 5.5 热泵工质的充注量 65

第6章 热泵工质对溶液 68

- 6.1 概述 68
- 6.2 水-溴化锂工质对的基本特性 69
- 6.3 氨-水工质对溶液的基本特性 73

第3篇 热泵部件

第7章 蒸气压缩式热泵部件 76

- 7.1 压缩机 76
- 7.2 冷凝器 85
- 7.3 蒸发器 100
- 7.4 节流部件 115
- 7.5 辅助部件 125

第8章 吸收式热泵部件 130

- 8.1 氨-水吸收式热泵的基本系统构成 130
- 8.2 氨-水吸收式热泵的部件 130
- 8.3 水-溴化锂吸收式热泵的基本系统构成 147
- 8.4 水-溴化锂吸收式热泵的部件 148

第9章 喷射式热泵部件 161

- 9.1 概述 161
- 9.2 喷射器的工作参数及其计算公式 162
- 9.3 喷射器的设计公式 166
- 9.4 喷射器设计示例 168

第 4 篇 热泵装置设计

第 10 章 基本热泵设计	175
10.1 蒸气压缩式热泵	175
10.2 吸收式热泵	187
10.3 喷射式热泵	201
10.4 热泵技术进展	210
第 11 章 热泵空调设计	248
11.1 热泵空调基础数据资料	248
11.2 热泵空调系统型式	249
11.3 热泵空调设计步骤	256
11.4 热泵空调设计示例	256
第 12 章 热泵热水装置设计	263
12.1 热泵热水基础数据资料	263
12.2 热泵热水装置设计步骤	265
12.3 典型热泵热水装置设计示例	267
第 13 章 热泵干燥装置设计	295
13.1 热泵干燥装置概要	295
13.2 干燥器基础数据资料	297
13.3 热泵干燥装置的型式	304
13.4 典型热泵干燥装置设计示例	308
第 14 章 热泵蒸发装置设计	330
14.1 蒸发技术基础	330
14.2 TVR 热泵蒸发装置	348
14.3 MVR 热泵蒸发装置	364
14.4 间接式热泵蒸发装置	376
14.5 介质循环热泵蒸发装置	385

第 15 章 热泵膜分离装置设计

396

- 15.1 膜分离技术概要 396
- 15.2 渗透汽化膜分离技术 398
- 15.3 热泵渗透汽化膜分离装置的设计 419
- 15.4 膜蒸馏技术 433
- 15.5 热泵膜蒸馏装置的设计 447

第 5 篇 热泵应用实例

第 16 章 热泵在民用领域的应用

470

- 16.1 热泵在家庭中的应用 470
- 16.2 热泵在商业及公共服务领域的应用 473

第 17 章 热泵在工业领域的应用

485

- 17.1 热泵在化工行业的应用 485
- 17.2 热泵在氯碱行业的应用 487
- 17.3 热泵在制药行业的应用 487
- 17.4 热泵在制盐行业的应用 490
- 17.5 热泵在造纸行业的应用 491
- 17.6 热泵在纺织行业的应用 492
- 17.7 热泵在橡胶行业的应用 494
- 17.8 热泵在冶金行业的应用 496
- 17.9 热泵在玻璃行业的应用 496

第 18 章 热泵在农林水产领域的应用

498

- 18.1 热泵在温室保温中的应用 498
- 18.2 热泵在种子加工中的应用 499
- 18.3 热泵在水产品加工中的应用 500
- 18.4 热泵在水产养殖中的应用 501
- 18.5 热泵在烟草加工中的应用 502
- 18.6 热泵在茶叶加工中的应用 503
- 18.7 热泵在果蔬、菌菇、粮食加工中的应用 503
- 18.8 热泵在木材加工中的应用 504
- 18.9 热泵在牛奶加工中的应用 505
- 18.10 热泵在啤酒行业中的应用 509
- 18.11 热泵在制糖行业中的应用 510
- 18.12 热泵在制革行业中的应用 510



第 19 章 热泵在交通领域的应用

512

- 19.1 热泵在港口船运领域的应用 512
- 19.2 热泵在汽车公路领域的应用 515
- 19.3 热泵在客车铁路领域的应用 517



第 20 章 热泵在能源资源领域的应用

519

- 20.1 热泵在油田的应用 519
- 20.2 热泵在沼气生产中的应用 520
- 20.3 热泵在煤矿的应用 521
- 20.4 热泵在电力行业的应用 523
- 20.5 热泵在水厂的应用 525
- 20.6 热泵在海水淡化中的应用 527
- 20.7 热泵在废水处理中的应用 527
- 20.8 热泵在太阳能热利用中的应用 528



第 21 章 热泵应用进展

530

- 21.1 热泵驱动溶液除湿空调及其应用 530
- 21.2 热泵供暖应用 534
- 21.3 MVR 热泵应用 538



参考文献

546

第 1 篇

设计基础资料

热泵技术手册 | REBENG JISHU SHOUCHE



第 1 章

热泵简介

1.1 热泵特点及相关术语

1.1.1 热泵特点

热泵是将低温热能转化为中高温热能的装置，如图 1-1 所示。



图 1-1 热泵功能示意

热泵的基本特点是只需消耗少量电能或燃气，即可制取大量的中高温热能。以制取 45℃洗浴热水为例，电动热泵与电锅炉、燃气热泵与燃气锅炉的比较如图 1-2 所示。

1.1.2 热泵的相关术语

(1) 第一类热泵

用少量高品位能源制取大量中高温热能的热泵，如图 1-3(a) 所示（热泵通常指第一类热泵，图中 Q 为热能， T 为温度， E 为高品位能源；下标 H 为高温，M 为中温，L 为低温）。

(2) 第二类热泵

用大量中温热能制取少量高温热能的热泵，如图 1-3(b) 所示。

(3) 热用户

热能的需求方，也可理解为高温热汇，如需供暖的房间等。

(4) 低温热源

低温热能的供给方或吸纳方（通常可免费为热泵提供低温热能），如环境空气、土壤等。

(5) 驱动能源

驱动热泵运行的高品位能源，如热能、电能、燃料等。

(6) 热泵制热量

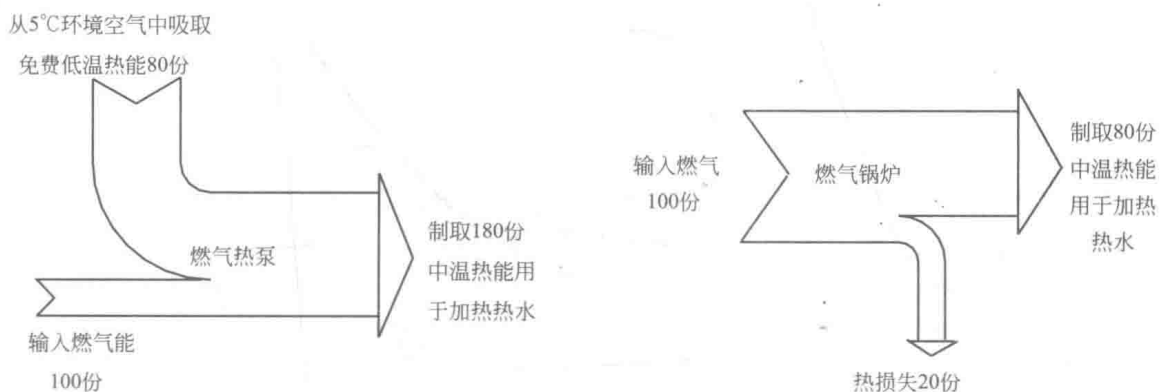
提供给热用户的中高温热能。不引起误解时，也指热泵的制热速率，单位为 W。

(7) 热泵耗能量

驱动热泵运行所需的能量。不引起误解时，也指热泵的耗能速率，单位为 W。



(a) 电动热泵与电锅炉的能流图



(b) 燃气热泵与燃气锅炉的能流图

图 1-2 电动热泵与电锅炉、燃气热泵与燃气锅炉的比较

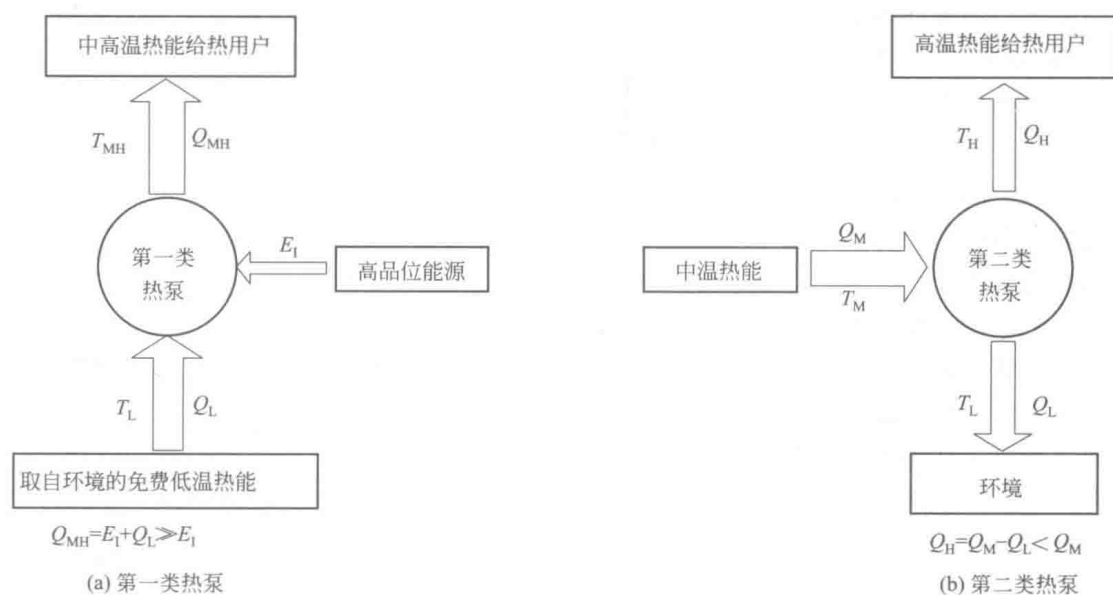


图 1-3 第一类热泵和第二类热泵示意

(8) 热泵吸热量

第一类热泵从环境等低温热源中吸取的免费热能。不引起误解时,也指热泵的吸热速率,单位为 W。

(9) 热泵排热量

第二类热泵向环境排放的热能。不引起误解时,也指热泵的排热速率,单位为 W。

(10) 制热性能系数

衡量热泵制热能源效率的指标,为热泵制热量与热泵耗能量之比,常用 COP_H 表示。

对第一类热泵,其制热性能系数为热泵制热量与热泵消耗的高品位能量之比,即:

$$COP_{H1} = \frac{Q_{MH}}{E_I} = \frac{E_I + Q_L}{E_I} = 1 + \frac{Q_L}{E_I} > 100\% \quad (1-1)$$

对第二类热泵,其制热性能系数为热泵制热量与热泵消耗的中温热能之比,即:

$$COP_{H2} = \frac{Q_H}{Q_M} = \frac{Q_H}{Q_H + Q_L} < 100\% \quad (1-2)$$

(11) 热泵材料

包括热泵工质、工质对溶液、载能介质、管路材料等。

(12) 热泵工质

在构成热泵的各部件中循环流动,并通过相态变化实现热泵制热功能的工作介质,在不引起误解时也简称为工质,如 R134a、氨、水、二氧化碳等。

(13) 工质对溶液

由热泵工质和吸收剂构成的溶液,如水(工质)+溴化锂(吸收剂)等。

(14) 载热介质

在热泵与热用户之间、热泵与低温热源之间输送热能的介质,如水、防冻液等。

(15) 蓄热材料

通过其温度变化、相态变化或化学反应来储存热能的材料。

(16) 热泵部件

构成热泵的硬件单元,可完成热泵工质循环中的特定过程,如压缩机、冷凝器等。

(17) 热泵

由热泵部件和热泵材料组成,可实现热泵功能的装置,如单级压缩式热泵、单效吸收式热泵等。

(18) 热泵应用装置

以热泵为核心,与其他设备单元集成,可完成特定功能的一套系统,如热泵干燥装置、热泵热水装置等。

(19) 热泵空调装置

通过工质流向切换实现冬季供暖、夏季供冷的装置。

(20) 热泵热水装置

利用热泵从环境等低温热源吸热来制取热水的装置。

(21) 热泵干燥装置

利用热泵蒸发器吸取干燥器排风余热并除湿,再通过热泵冷凝器将除湿后冷干空气加热至适当温度并送入干燥器进行物料干燥的装置。

(22) 热泵蒸发装置

用热泵吸收蒸发装置产生的二次蒸气,并制取高温热能来加热料液使其蒸发,实现料液