

热泵蒸发— 高效节能技术

李成春 韩伟 编著



55.2

科学技术文献出版社

热泵蒸发——高效节能技术

李成春 韩 伟 编著

科学技术文献出版社

1986

内 容 简 介

本书是一本比较全面地、系统地论述热泵蒸发的专著，着重地讲述了机械压缩型开路循环系统的热泵蒸发技术及其节能效果。全书共分七章，一至四章阐述了有关热泵技术的基本知识、工作原理和对热能利用率的理论概述、分析及其经济评价；五、六两章讲述了热泵蒸发装置设计原则和可选用的各种压缩机的结构原理、特点及功率、效率的计算公式；七章为作者多年从事热泵蒸发研究工作实践总结，用大量的应用实例，论证了热泵蒸发技术在各类化工型企业中用于蒸发、蒸馏和干燥等方面的高效节能性、明显的经济效益，以及其他方面的优点。

可供石油、化工、轻纺、冶金、食品、制药和其它行业从事能源、动力等热能工作的科技人员，以及有关高等院校师生参考。

热泵蒸发——高效节能技术

李成春 韩 伟 编著

科学技术文献出版社出版

中国科学技术情报研究所印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本：787×1092 1/32 印张：9 字数：194千字

1986年1月北京第一版第一次印刷

印数：1—5000册

科技新书目：110—40

统一书号：15176·659 定价：1.75元

前 言

能源是人类赖以生存的重要物质基础，是社会生产和生活的原动力。近半个世纪以来，世界能源增长速度，远远不能满足世界经济发展和人类生活现代化的需要，已成为十分尖锐的问题。我国的能源情况也不例外，我们到二〇〇〇年时，要实现全国工农业年总产值翻两番的目标，但能源只能翻一番，由此可见能源也正面临着紧张的局面。解决能源危机的办法：一是努力开发新能源；二是积极节约能源，这里包括建立合理的能源利用结构和大力开展研究与应用节能新技术，以促进提高能源利用率。

热泵技术就是回收工业低温余热实现节能目的的有效途径之一。作者正是从节能角度出发，根据多年来从事热泵蒸发研究工作的实践并在参阅了许多国内外有关资料的基础上编著本书。书中比较系统地阐述了有关热泵蒸发技术的基本知识、工作原理，并对其节能效果的理论作了详细的分析与评价；另外还介绍了热泵蒸发装置的设计原则和主要设备选择的方法。本书最大的特点是引用了大量的热泵蒸发应用实例，详尽地论证了热泵技术在蒸发、蒸馏和干燥等行业中使用具有突出的节能效果和明显的经济效益。编著这本小册子旨在抛砖引玉，使更多的读者对热泵技术引起更大的兴趣，让热泵技术在更广泛的行业中得到应用，发挥出其特有的优越性，在节能方面起到应有作用，乃是作者最大的欣慰。

本书原稿曾特请化工部化工机械研究院院长、高级工程师陆震维博士认真、仔细地审校，并提出许多宝贵的修改意见，为提高本书的质量付出辛勤的劳动；同时在编稿过程中承蒙原核工业部副部长，现任核工业部科学技术委员会主任，著名化工专家姜圣阶、中国科学技术情报研究所高级工程师姚维范和北京化工学院工程师韩燕蓓等同志热情的指导和大力支持。书中引用了许多有关文献中的资料和数据，并得到许多方面的帮助。特在此一并致以衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中难免有欠妥甚至谬误之处，希望读者提出批评指正。

编著者

目 录

前 言

第一章 绪论	(1)
§1-1 能源的重要性	(1)
§1-2 各国能源利用的情况	(2)
§1-3 开展节能的手段及意义	(3)
§1-4 热泵技术简史及现状	(4)
§1-5 热泵装置的种类及用途	(6)
§1-6 热泵技术的特点及展望	(6)
第二章 热泵蒸发过程的热力学基础知识	(8)
§2-1 几个主要基本概念	(8)
一、工质	(8)
二、体系(或系统)	(9)
三、状态	(10)
四、过程	(10)
五、循环	(10)
六、坐标图	(11)
§2-2 几个主要基本参数	(12)
一、温度	(12)
二、压力的概念及单位	(13)
三、比容与重度	(18)
四、焓	(19)
五、熵	(20)

六、内能	(21)
七、功	(22)
§2-3 热力学第一定律和热量计算	(23)
一、热力学第一定律及其解析式	(23)
二、比热和热量的计算	(28)
§2-4 热力学第二定律	(30)
一、熵增与能量的贬值	(31)
二、循环热效率和卡诺循环	(33)
三、能量的可用性	(36)
§2-5 水蒸汽	(38)
一、水蒸汽的形成	(38)
二、水蒸汽在定压下的形成过程	(42)
三、水蒸汽的某些性质	(44)
第三章 热泵蒸发过程的传热学基础知识	(48)
§3-1 传热的三种基本方式	(48)
一、热传导	(49)
二、热对流	(49)
三、热辐射	(50)
§3-2 传热的几个基本定律	(52)
一、导热基本定律——傅立叶定律	(52)
二、对流放热的基本定律——牛顿定律	(52)
三、辐射换热的基本定律——斯蒂芬——波尔兹曼定律	(53)
§3-3 传热过程分析及其基本方程式	(54)
§3-4 传热的计算	(58)
一、基本方法——热阻的应用	(58)
二、换热设备的计算	(60)
三、温度差 Δt 的计算	(64)
四、传热公式的应用	(69)

第四章 热泵蒸发原理及理论分析	(78)
§4-1 热泵蒸发原理	(78)
一、压缩式热泵机理	(79)
二、吸收式(喷射器)热泵机理	(82)
§4-2 热泵性能分析与评价 ⁽³⁾	(86)
一、热泵性能系数的分析	(86)
二、热泵的有效能效率	(90)
三、热泵的经济评价	(94)
第五章 设计原则及设备选型	(97)
§5-1 设计原则	(97)
§5-2 蒸汽压缩机的选型	(98)
§5-3 驱动力(原动机)的选择	(101)
一、热泵——热机综合利用热能机组	(102)
二、热泵——热机综合利用热能机组的类型	(105)
三、热泵——热机组的经济效果	(109)
§5-4 蒸发器的类型	(109)
一、盘管式或釜式蒸发器	(111)
二、卧管式自然循环蒸发器	(111)
三、竖管式自然循环蒸发器	(112)
四、外加热式蒸发器(热虹吸管)	(113)
五、强制循环式蒸发器	(114)
§5-5 影响热泵蒸发效果的几个主要因素	(115)
一、雾沫挟带	(115)
二、起泡	(118)
三、结垢	(119)
四、腐蚀	(120)
§5-6 一种新型热泵蒸发装置 ⁽¹⁰⁾	(121)

第六章 各类压缩机的结构与特点	(133)
§6-1 压缩机的类型 ^{〔12〕}	(133)
一、按工作原理分类	(133)
二、按压力分类	(134)
§6-2 回转式压缩机的效率、功率及排气温度	(140)
一、效率	(140)
二、功率	(143)
三、排气温度	(145)
§6-3 罗茨式鼓风机 ^{〔10〕}	(145)
一、工作过程和特点	(145)
二、理论排气量和容积效率	(148)
三、功率和效率计算	(151)
四、排气温度	(151)
五、结构	(152)
§6-4 螺杆式压缩机 ^{〔10〕}	(153)
一、工作过程及特点	(153)
二、排气量	(156)
三、实际排气量	(160)
四、功率	(162)
§6-5 滑片式压缩机 ^{〔10〕}	(163)
一、工作特点	(163)
二、排气量计算	(165)
三、功率与效率	(167)
§6-6 离心式压缩机 ^{〔12〕}	(168)
一、结构及工作原理	(168)
二、功率与效率	(172)
§6-7 轴流式压缩机简介	(177)
第七章 热泵蒸发技术应用实例	(180)

§7-1 工业规模热泵蒸发实验装置 ^[18]	(180)
一、技术参数和工艺流程	(180)
二、主要设备及其特点	(182)
三、几点看法	(191)
§7-2 应用实例之一净化放射性废液 ^[18,19]	(192)
一、料液的配制	(193)
二、装置及流程的说明	(193)
三、试验与结果	(193)
四、结论与讨论	(200)
§7-3 应用实例之二浓缩纸浆黑液 ^[19]	(203)
一、情况简介	(203)
二、流程的主要特点	(204)
三、试验与结果	(204)
四、结论与讨论	(212)
§7-4 应用实例之三浓缩玉米浆 ^[19]	(218)
一、物料性质	(218)
二、产品(浓缩液)的要求	(218)
三、生产实验流程及设备	(219)
四、生产实验过程及操作条件	(219)
五、实际耗能量与节能效果	(219)
§7-5 应用实例之四采用热泵蒸发淡化海水 ^[35]	(223)
一、情况简介	(223)
二、流程和主要设备结构特点	(223)
三、能耗分析与节能效果	(226)
四、运行特性	(227)
五、热泵蒸发在海上钻油船用于制备淡水的实例	(228)
§7-6 应用实例之五联邦德国卡尔斯鲁厄核研究中心 的热泵蒸发装置运行效果 ^[14,36]	(229)

一、蒸发处理系统介绍	(229)
二、热泵蒸发装置概况	(229)
三、运行经验与节能效果	(231)
§7-7 应用实例之六国外浓缩纸浆废液情况 ^[34]	(233)
一、浓缩红液情况与节能效果	(233)
二、浓缩黑液情况与节能效果	(234)
三、热泵蒸发对BOD的去除效果	(236)
§7-8 应用实例之七日本采用热泵蒸发浓缩糖浆 情况 ^[19]	(237)
一、情况简介	(237)
二、新型节能蒸发装置(VRC)的特点	(238)
三、实际生产情况与节能效果	(238)
§7-9 应用实例之八蒸馏过程采用热泵情况的介绍	(242)
§7-10 应用实例之九干燥领域采用热泵情况	(247)
一、在茶叶干燥中的应用效果	(247)
二、在粮食干燥中的应用效果	(249)
三、在木材干燥中的应用效果	(251)
附录	(254)
附图：水蒸汽性能莫里哀线图	(254)
附表1：饱和水和饱和蒸汽表	(254)
附表2：过冷水和过热蒸汽表	(254)
附表3：能量单位换算表	(257)
附表4：几种金属的热性质	(259)
参考文献	(260)

第一章 绪 论

§1-1 能源的重要性

随着科学技术的进步，现代工农业生产以空前的速度在发展，同时由于人民生活水平的不断提高，因而在世界范围内能源不但需要量巨大，而且每年正以4~4.6%的速度急剧增长着⁽¹⁾。根据科学预测，世界上各种常规能源（主要指煤、石油、天然气等）只能维持一个相当的有限年代，因此人们逐步深刻地预见到能源危机问题的严重性。资本主义工业发达国家纷纷制订国策，为探索和开发新能源，积极采取有效的节能措施。

能源紧张是当今世界各国的一个共性问题，因为能源是提供物质生产和生活的原动力。我国的四个现代化的实现也是首先取决于要有充足的能源供应。根据我国的国情，只要我们认真做好能源的开发和节能工作，在管理方面少发生失误现象，我国就完全能够依靠自己拥有的能源资源来满足四个现代化的需要和今后高度物质文明与精神文明的现代化生活的需要。

§1-2 各国能源利用的情况

目前世界上能源利用率最高的国家是日本(57%)，其次是美国(51%)，再者是西欧经济共同体(40%以上)^[6]。从上面的统计数字看出，在世界范围内，即使工业发达国家也约有43~60%的能源转为废热而排掉了。我国目前能源利用率与工业发达国家差距较大，据不完全统计只有30%左右得到利用，其余基本变为废热而排掉了，并且对环境造成了一定的污染。由此可见余热回收、废热利用乃是节能的重要环节之一，同时也是可以减少热污染和降低产品成本、节约资金、提高经济效益的有利措施。

从整个能源利用的情况来看，尽管各国有所不同，然而消耗能源最多、余热浪费最大的还是工业系统，尤其化工类型(泛指石油、化工、轻纺、食品等)企业使用能源种类繁多，品位不一，工艺过程兼有吸热和放热，所采用的设备也是多种多样的，很难得出统一的热利用率的标准。仅以低温位工业余热资源及其利用状况来讲，同样多的热量，在不同的温度下提供可利用的价值也不同，温度越低热量的品位越低。在工业余热中，200℃以下的低温位余热占很大比例。据美国冶金、化工、炼油、造纸、建材、食品加工等六大耗能工业一九七〇年的统计，在工业余热中，低于100℃的占42%；100~200℃的占21.6%，两项共占63%强^[16]。我国的化工、冶金、电力等部门都是用能的大户，其能耗大、余热多。仅就全国27个重点炼化企业的不完全统计，可利用的余热资源约为 1.05×10^{13} 千卡/年，其中热物料流的余热占

33%，废蒸汽和冷凝水的余热占47%，烟道气的余热占9%，火炬的余热占11%。再以北京某炼油厂为例，据一九八〇年统计，热物料流的余热是 2.3×10^8 千卡/时，占总余热量的47%，而在热物料流余热中，如按温度品位分，低于100℃的占57%，100~200℃的占37%，200℃以上的占6%。由此可见，低温位余热在工业余热中完全可以作为二次能源开发利用。

对于低温位工业余热的回收利用技术，近年来在国外发展很快。日本通产省工业技术院所制订的节能规划——“月光计划”，对于低温位余热的利用方式就提出：热泵技术、低温发电、吸收式制冷等手段。其中对蒸汽再压缩型开路循环热泵蒸发技术尤为重视，甚至被称为是划时代的高效节能技术。

§1-3 开展节能的手段及意义

我国能源供应紧张的局面，这是众所周知的，今后相当长的一段时间内，将在能源相对短缺的条件下，要求工农业生产逐年有较大的增长，不狠抓节能显然是不行的。工业余热，量大、面广、品位多，是一个可以作为充分开发利用的潜在的二次能源。我国能源利用率低，余热量大，应该把低温位工业余热的回收利用作为重要的节能措施，加强科研工作与推广应用较成熟的节能新技术。

能源的开发与节能是当前的首要课题。回收工业企业中的大量余热；改造陈旧落后的换热装置，引用新型高效节能设备，以提高热利用效率，乃是当务之急，势在必行。如何

回收利用工业系统的大量低温位（150℃以下）余热，是人们极为关注的问题。回收低温位余热的办法是多种多样的，其中热泵技术乃是主要方法之一。因为它具有高效节能的特殊功能，热泵最早是大量用在采暖和空调系统。由于能源日趋紧张，加上技术不断完善，目前在国外热泵已经成功地用于许多方面，并已收到良好的节能效果。如木材、谷物、茶叶烘干；纸张的干燥；石油产品的精馏；尤为突出的是在化工类型企业中料液的浓缩、提纯、净化等蒸发单元更是有如雨后春笋一般的积极开展研究和迅速得到推广应用。

§1-4 热泵技术简史及现状

热泵在国际上并非新技术，早在一八二四年N·Carnot就已奠定了热泵的理论基础，直到一八五〇年L·Kelvin才提出冷冻装置也可用于加热的具体设想。继而在几十年内热泵成为学术研究者的兴趣所在，许多科学家和工程师竞相研究，企图使这种新技术得到快速发展。这种研究热潮持续了八十年之久，然而由于当时受到各方面的条件所限并未得到及时发展。在第二次世界大战的岁月里，某些国家出于军事上的需要，为了军舰、海岛上制备淡水，曾对小型热泵蒸发装置进行研制并得到一定的应用。当第二次世界大战结束之后，由于受到廉价的石油等燃料的影响，热泵技术又一度处于缓慢的发展阶段。热泵技术虽然遇到种种逆境和挑战，但它逐渐地走向越来越成熟的阶段，尤其到了一九七三年资本主义国家发生了空前的能源危机之后，热泵技术以它能够有效地回收低温位余热，达到高效节能的特有的优势，在各国许

多行业中受到普遍的重视，获得迅速的发展。近几年来在节能方面更是英雄大有用武之地。世界能源组织于一九七六年专门成立了国际热泵委员会，苏联、英国、法国、联邦德国、丹麦、瑞典、挪威等国参加了该委员会。美国一九七一年热泵装置年产量只有82,000套，一九七六年就突破了年产量30万套大关，到了一九七九年已经有200万套各种类型热泵装置在运行。据美国能源研究和发展管理局的规划，到二〇〇〇年美国将拥有1,200~2,600万套新型热泵装置。目前美国的各种热泵装置产量仍居世界领先地位。但是，能源贫困的日本亦不甘落后，正在大量开展各种用途的热泵装置的研制工作和积极推广应用已有的成果，一九七七年年产量就超过50万套、大有后来居上之势。根据国际热泵委员会的调查，预计热泵装置随着能源的短缺，对于“热化”将起重要的作用，估计到二〇〇〇年由热泵装置供热的总负荷可达到 1.3×10^{11} 千卡/时。

我国虽然对热泵技术的研究工作起步较晚、较慢，但由于能源问题日益突出，对节能要求越来越迫切，从而对热泵技术的发展不但受到多方面的重视，而且也已经取得了初步的成效。如具有实际生产价值的用于化工类型工厂企业的机械压缩型开路循环式工业规模的热泵装置，不但已经顺利通过技术鉴定，而且在近两年已有几个工厂投入生产运行。这也是本书后面几章要讲述的主要内容，将以大量应用实例说明这种热泵蒸发装置的高效节能和其它特点。其它类型热泵装置也正在积极进行研制。

§1-5 热泵装置的种类及用途

热泵装置，按其工作原理可划分为压缩式、吸收式、电子式和化学式四大类。压缩式根据不同用途又可分为(1)开路循环式：这类装置多用于化工、石油、轻纺、食品、医药、环保以及核工业等企业的水溶性料液的蒸发、蒸馏方面，其实际制热系数一般在5.5~15左右，若所选择的压缩机性能较好，换热设备设计得比较先进，系统的匹配与操作又比较合理，传热温差较小时，制热系数还可大大提高；(2)闭路循环式；多用于采暖、空调和干燥系统，它的制热系数一般在2.5~4.5左右（这类装置不是本书重点）。化学式、电子式、热泵装置还处于探索研究阶段，目前掌握资料甚少，暂不予以论述。

§1-6 热泵技术的特点及展望

(1) 它的突出优点就是热效率高，节能效果显著。这种装置只需耗费少量的高质能（电能、机械功）就可获得较多的热能，因而减少了能源的浪费。据苏联的资料报道，火力发电厂供电，热泵供热比用锅炉直接供热，提高效率达50%以上；

(2) 热泵技术的采用可取代大量的锅炉房，节省燃料，减少大气的污染。余热得到利用的同时也减少了热污染，因而使城市环境卫生必然得到改善，也有利于生态平衡；

(3) 就热泵蒸发装置而言，结构紧凑，占地面积少，