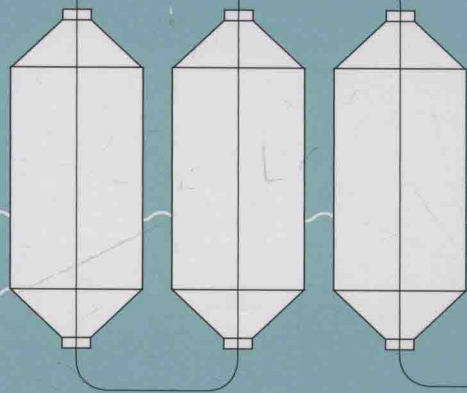


高效节能节水环保技术

机械蒸汽再压缩式 热泵蒸发法

庞合鼎 编著



中国轻工业出版社 | 全国百佳图书出版单位

高效节能节水环保技术

机械蒸汽再压缩式 热泵蒸发法

庞合鼎 编著



中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

机械蒸汽再压缩式热泵蒸发法/庞合鼎编著. —北京: 中国轻工业出版社, 2016. 3

ISBN 978-7-5184-0826-9

I. ①机… II. ①庞… III. ①蒸汽—气体压缩机械—热泵—蒸发法 IV. ①TH3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 002685 号

内容提要

本书比较系统、全面地介绍了机械蒸汽再压缩蒸发技术的理论知识和工程应用中的实际问题。内容共分九章, 包括这项技术的一般概念和基本理论知识, 工程设计中应考虑的要点和应掌握的原则; 给出了一些实验研究数据并列举了不同领域的工业应用实例, 对节能效果进行了比较分析以及讨论了生产运行中的有关问题。为了实际应用中热工计算的方便, 在本书后的附录中, 收集了有关数据表和水蒸气的焓-熵图。这项节能技术的推广应用必将为社会带来节约能源和保护环境的显著效果, 为企业和生产单位带来突出的经济效益。

本书可供化工、石油、造纸、制药、食品、海水淡化、废水处理、核废水的净化和浓缩等部门以及科研院所科技人员、管理人员和大专院校师生参考。

责任编辑: 林 媛 责任终审: 滕炎福 封面设计: 锋尚设计
版式设计: 宋振全 责任校对: 吴大鹏 责任监印: 张 可

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 三河市万龙印装有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2016 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 14 插页: 1

字 数: 320 千字

书 号: ISBN 978-7-5184-0826-9 定价: 45.00 元

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

151187K5X101HBW

序

能源、水资源的高效利用问题，已受到各国的重视。能源是人类生活和经济发展的物质基础。

改革开放以来，我国能源工业迅速发展，为国民经济持续发展做出了重要贡献。我国是能源生产大国，也是能源消费大国。人均能源资源拥有量较低，能源资源相对不足。随着能源生产量和消费量的不断增加，“三废”产生量也随之增加，环境污染日益严重。因此，节能减排，提高能源利用率，减少能源浪费不仅有利于环境保护，而且对保障国民经济持续发展也具有重要意义。

我国政府高度重视环境保护和资源节约问题，坚持资源节约和环境保护的基本国策，坚持能源开发与节约并举，节约优先，走资源节约道路的方针，使我国的能源供需矛盾和环境状况得到明显改善。

我国是一个水资源短缺的国家，水资源的时空分布极不均衡。水资源已成为制约我国经济发展的“瓶颈”，对工农业生产和人民生活影响巨大。因此，节能、节水对我国经济持续发展具有重大意义。

热泵蒸发技术，或称“机械蒸汽再压缩蒸发法”，是一项高效节能、节水、环保技术推广应用这一技术对提高企业的能源利用率，增加经济效益具有重要意义。

本书对热泵蒸发技术做了比较全面介绍，对热泵技术的发展历史、热泵蒸发技术的理论基础、热泵蒸发装置工程设计和操作运行的有关问题都有详细介绍，基本反映了国际国内的现状和发展动向以及笔者的工作成果和经验。

本书可供造纸、食品、制药、化工、石油、核工业、水处理、海水淡化、环境保护等部门以及其他科学技术部门从事能源技术工作的科技人员、管理人员、操作工人参考，也可供大专院校有关专业的师生参考。

于承泽
2015年10月

编者的话

高效节能、环保、节水的热泵蒸发技术，也叫机械蒸汽再压缩蒸发法，是一项成熟可靠又非常实用的技术。它同常规同类蒸发法相比较，一般可节约 80% ~ 90% 的热能。在国外，这种技术早已用于工业生产，并有很好的运行经验，而对我国来讲仅是处在起步阶段。不少人想对热泵蒸发技术有所了解和认识，来信、来电咨询和索取有关资料，但缺乏工业用热泵方面完整系统的书籍可查，虽看到不少热泵书籍，其内容绝大多数为空调机、电冰箱方面技术的描述和讨论。为了节约能源、保护环境及节约水资源，尽快在我国推广工业用热泵蒸发技术。在这方面，尽我们应尽的一点力量和应承担的一份责任，才下决心把从事多年热泵蒸发技术研究情况和经验以及查阅有关这方面的资料整理成册，以供有关和有兴趣的读者，能通过这本书对工业用的机械蒸汽再压缩蒸发技术，即工业用热泵蒸发技术有所了解和认识，进而去应用和推广这项技术。

前 言

能源是人们生活在一个工业化社会的基本需求，然而许多常规能源总会有一天要用完的。由于社会、科技的不断发展，使各行各业的人们都清楚地认识到能源对人类的重要性以及人类对它的依赖性，也看到能源消耗的严重性。除此，我们又亲身感受到消耗能源的同时所带来的严重环境污染问题（如水污染及大气污染），例如 2013 年年底一段时间出现的大面积雾霾，使我们淹没在其中；无雨无风雾霾就要持续笼罩着，这直接影响着我们的健康，这也是耗能污染并存的问题。再来看看水资源问题，我们回顾一下已过去的 40~50 年的时间水资源的变化，20 世纪 60 年代村村有水井，村民家家引用井水，每逢雨天用手伸入井内便可从井中提上水来。路边、村边雨后的那些水坑中的蛙群叫声使人难以入眠。山间小溪流水不断，平原地区大小河流，流水滔滔向下游而去，洪水季节河水几乎要溢出两岸河堤。而现在村中井枯了，山间溪流干了，平原地区大小河流有不少没水了。这短暂的自然变化带来了这些严重而值得思考的问题。我国政府十分重视这些问题，并有了这方面的政策，由于政策的执行在节能和环保方面取得了显著的成效（第 9 章中有描述）。

现在，我们要做的就是研究新技术，利用现有的有效技术节约能源，减少污染，节约用水，保持用水的持久性。

本书是在庞合鼎、王守谦、阎克智于 1985 年合编的《高效节能的热泵技术》一书的基础上经过修改，并增加了第 2 章、第 4 章和附录的内容。该书所论述的热泵蒸发技术就是能达到既节约能源、减少污染又能节约用水的方法之一，也就是文章中所讨论的机械蒸汽再压缩式热泵蒸发技术。20 世纪 70 年代天津大学化工系在实验室内作小型热泵试验研究。原子能研究所（即现在的中国原子能科学研究院）于 1975—1979 年建成一套机械蒸汽压缩式热泵蒸发装置，设计为每小时蒸发水量 250kg，实际运行达到 330kg。现场测量每蒸发 1t 水耗电 68kW·h，但当时因国内没有厂家制造不锈钢蒸汽压缩机，因而这项工作搁置了下来。当时，同德国的起步时间仅差几年的时间，但这么一拖便落后了几十年。

2003 年辽宁沈阳沈鼓集团公司可以制造压缩汽量为 15t/h 的离心式水蒸汽压缩机以后，又生产了汽量为 36t/h、46t/h 的水蒸汽压缩机，这便为我国热泵蒸发技术的发展创造了条件，此后又有一些生产厂家也能制造同种类和不同种类的水蒸汽压缩机。目前这项节能技术在国内的化工、食品、制药及海水淡化方面都已有应用。热泵蒸发法无论生产能力大小均能节约热能 80%~90%（同常规同类型蒸发装置相比较），不过生产规模越大节能效果越显著。采用热泵蒸发法可以省去冷却循环水泵房及冷却塔系统，如果用电启动又可以省去锅炉房，这便达到了节能，无污染又节约水资源的目的。

这项技术在我国的应用仍处在起步的初期阶段，但发展的趋势很快，不过还需要大力推广。为此，我将所做实验研究工作、生产运行经验及调研资料加以整理供有兴趣人士参阅。

本书的初稿经由中国原子能科学研究院罗文宗研究员（原放化所所长）审阅，余承泽研究员（原研究室主任）、廖元宗研究员和从事热泵研究的化工机械工程师秦化一阅读，他们都提出了宝贵的修改意见。

在编写过程中的打印、图表扫描和复制工作，得到了李秀芳等人的大力帮助。

出版费用得到了长沙鼓风机厂有限责任公司的赞助。

在此，对以上提供帮助的朋友和经费赞助单位表示衷心的感谢。

由于编写水平有限，请读者多加指正，并希望多提宝贵意见，谢谢！

作者

2015年11月

目 录

第 1 章 热泵的发展史	1
1.1 国外家用热泵的发展情况	1
1.1.1 19 世纪	1
1.1.2 20 世纪	1
1.2 国外工业热泵的发展史	3
1.3 我国热泵的发展	3
参考文献	4
第 2 章 热泵的基本概念	5
2.1 什么是热泵	5
2.2 热机、热泵、制冷机的特征和区别	5
2.2.1 热机	6
2.2.2 热泵	6
2.2.3 制冷机	6
2.2.4 电冰箱	6
2.2.5 空调机	6
2.3 热机和热泵效能的评价	7
2.3.1 热机效率	7
2.3.2 热泵的性能系数	7
2.3.3 制冷机的性能系数	7
2.3.4 空调机和电冰箱效能的评价	8
2.4 热泵的循环	8
2.4.1 开式热泵循环	8
2.4.2 闭式热泵循环	9
2.5 热泵的类型及其特征	10
2.5.1 空气压缩式热泵	10
2.5.2 蒸汽压缩式热泵	11
2.5.3 蒸汽喷射式热泵	11
2.5.4 吸收式热泵(化学热泵)	12
2.5.5 半导体热泵——帕尔特(Peltier)热泵	13
参考文献	14

第3章 热泵理论	15
3.1 热力学定律	15
3.1.1 功和热力学能	15
3.1.2 热和热力学能	16
3.1.3 热力学第一定律——能量守恒定律	18
3.1.4 热力学第二定律	19
3.2 循环过程中热和功的相互转换	21
3.2.1 热机、制冷机和热泵的热力循环过程	21
3.2.2 热泵的热力循环系统	25
3.3 工业生产用的热泵循环过程	32
3.3.1 工业用机械蒸汽压缩式热泵特点	33
3.3.2 循环系统的热力分析	33
参考文献	38
第4章 热泵蒸发过程中的水和水蒸气	39
4.1 水蒸气产生的过程	39
4.2 水蒸气状态参数的确定	41
4.2.1 水和水蒸气的比体积	41
4.2.2 水和水蒸气的焓	42
4.2.3 水和水蒸气的焓及热力学能	43
4.3 水和水蒸气的熵	46
4.3.1 熵的概念	46
4.3.2 水和水蒸气的熵	47
4.3.3 干饱和蒸汽表及其应用的举例	48
4.3.4 过热蒸汽表及其应用举例	54
4.4 水蒸气的 $T-s$ 图及 $h-s$ 图	55
4.4.1 水蒸气产生过程的 $T-s$ (温—熵)图	55
4.4.2 水蒸气的 $h-s$ 图(焓—熵图)	58
4.4.3 水和水蒸气的 $h-s$ 图	59
4.5 水蒸气 $h-s$ 图中各曲线的解说和应用	60
4.5.1 曲线的解说	60
4.5.2 曲线解说中应用 $h-s$ 图进行热力计算的举例	64
参考文献	66

第 5 章 热泵工艺参数及设备匹配的实验验证	67
5.1 放射性废水模拟料液的实验	67
5.1.1 实验流程和设备	67
5.1.2 主要设备及其作用	68
5.1.3 试验与结果	70
5.1.4 结论与讨论	74
5.2 造纸黑液的浓缩处理试验	75
5.2.1 造纸黑液蒸发浓缩处理流程	75
5.2.2 操作条件	76
5.2.3 蒸发器运行方式	76
5.2.4 净化效果	76
5.2.5 耗能及节能效果	76
5.3 无机盐类的制备	77
5.3.1 从废液中回收亚硫酸钠的实验	77
5.3.2 氯化钡的生产实验	79
5.3.3 氯化钙溶液的蒸发浓缩实验	81
5.4 甘油水溶液的蒸发浓缩	83
5.4.1 试验用的原料液	83
5.4.2 第一次试验	84
5.4.3 第二次试验	84
5.4.4 同厂内所用常规单效蒸发比较的节能情况	85
5.5 玉米浸泡液的净化和浓缩实验	85
5.5.1 玉米浸泡液的特性	85
5.5.2 实验流程	86
5.5.3 运行条件	86
5.5.4 净化效果及耗能情况	86
5.6 流程中设备匹配的改进及必要的说明	87
5.6.1 流程中设备匹配方面的改进	87
5.6.2 必要的说明	87
参考文献	87
第 6 章 热泵的工业应用	88
6.1 热泵技术的应用概况	88
6.1.1 机械蒸汽再压缩式热泵的应用范围	89
6.1.2 蒸汽喷射式热泵的适用范围	93

6.2	热泵在海水淡化及高纯水制备中的应用实例	93
6.2.1	舰艇上的应用实例 1	93
6.2.2	舰艇上的应用实例 2	94
6.2.3	热泵在高纯水制备中的应用实例	97
6.3	盐类的制备	100
6.3.1	喷射式单效热泵蒸发装置	100
6.3.2	机械蒸汽压缩式热泵蒸发装置	100
6.3.3	机械蒸汽压缩式制盐的操作流程	101
6.3.4	热泵蒸发法回收无水硫酸钠	103
6.3.5	亚硫酸盐废液的回收	105
6.3.6	盐卤蒸发	105
6.4	热泵在放射性废水处理中的应用	106
6.4.1	应用实例 1	106
6.4.2	应用实例 2	107
6.4.3	应用实例 3	108
6.5	热泵在化肥领域合成氨工艺中的应用实例	110
6.5.1	泸州天然气化工厂合成一车间实例 1	110
6.5.2	热泵在合成氨生产工艺中应用实例 2	111
	参考文献	112

第 7 章	热泵蒸发装置的设计	113
7.1	设计的总体考虑	113
7.1.1	压缩机提供蒸发的推动力	113
7.1.2	沸点升高消耗压缩功	116
7.1.3	回收二次蒸汽冷凝液热量达到最好经济效果	117
7.1.4	操作压力及不凝性气体的排放	117
7.1.5	压缩机入口蒸汽的适当过热和出口蒸汽的消除过热	118
7.1.6	其他几个问题	118
7.2	热泵蒸发生产流程设备配置的考虑	118
7.2.1	热泵蒸发生产流程	119
7.2.2	各个设备设计的目的和用途	119
7.3	系统启动热源和补充热源	120
7.3.1	借用已有热力管网中的蒸汽	121
7.3.2	柴油机组	121
7.3.3	热泵蒸发系统自身配备小的启动电热锅炉	121

7.4	热泵蒸发系统热量平衡的计算	122
7.4.1	热量平衡计算	122
7.4.2	启动热源及补偿热源的考虑	123
7.5	选用适宜的压缩机及驱动装置	124
7.5.1	选用适宜的压缩机	124
7.5.2	选择压缩机的驱动装置	124
7.6	蒸发器考虑选用的要点	125
7.7	热泵蒸发系统的运行及控制	125
7.7.1	操作程序	125
7.7.2	监测与控制	126
7.7.3	控制方式	127
	参考文献	127
第8章	热泵蒸发系统的主要设备	128
8.1	蒸汽压缩机	128
8.1.1	离心式水蒸气压缩机	128
8.1.2	罗茨式水蒸气压缩机	133
8.1.3	螺杆式压缩机	135
8.1.4	轴流式压缩机	136
8.2	蒸发器	137
8.2.1	蒸发器的类型和应用	137
8.2.2	选用蒸发器的考虑	147
8.2.3	汽液分离装置	151
8.3	热交换器(预热冷凝器)	156
8.3.1	管式换热器	156
8.3.2	板式换热器	162
8.3.3	其他类型的换热器	164
	参考文献	166
第9章	节约能源及热泵的未来	167
9.1	节约能源的意义	167
9.2	我国能源资源的现状及存在问题	168
9.2.1	我国能源资源发展的现状	168
9.2.2	我国能源资源利用存在的问题	168
9.3	高效节能热泵技术在我国发展的广阔前景	170

9.3.1 节能要靠国家重视和推广要有具体政策	170
9.3.2 提高全民节约能源的意识	171
9.4 热泵蒸发技术在我国有着广阔的发展前景	171
参考文献	171
附录	172
附表 1 饱和水蒸气表(按温度排列)	172
附表 2A 饱和水蒸气表(按压力排列)	174
附表 2B 饱和水蒸气表(按压力排列)	176
附表 3 水的饱和蒸汽压(-20℃ 至 100℃)	179
附表 4 水和过热蒸汽	180
附表 5 在饱和温度下读出的过热水蒸气的平均比热容	206
附表 6 水的重要物理性质	207
附表 7 空气的重要物理性质(760mmHg 压力下)	209
附表 8 无机物水溶液在大气压下的沸点	210
附表 9 单位换算表	211
水蒸气的 $h-s$ 图	213

第 1 章 热泵的发展史

现在,工业用热泵蒸发技术应该说是一项成熟、可靠的实用技术。不过,不少人对此还有点神秘感。家中的空调机和电冰箱就是你身边的热泵装置,这些装置也是在改革开放 30 年的发展中才逐步走进千家万户,之前用到空调机,电冰箱的家庭并不多。这下,你反倒又觉得太熟悉了。但是,我们要谈的并不是这两种装置,主要介绍工业用热泵。无论现在的家用热泵(空调机,电冰箱),还是工业热泵都经历了漫长的发展,其原理基本相同。从 19 世纪到 20 世纪 70 年代的这个历史发展过程中,有不少学者、专家做过许许多多试验和研究工作才逐步完善了热泵技术的基本理论概念。下面就对其发展历史做个概括的介绍。

1.1 国外家用热泵的发展情况^[1-2]

1.1.1 19 世纪

19 世纪初期随着对物理过程认识的深化,人们对能否将低温热能泵送到较高温度处产生了兴趣。1824 年法国青年工程师卡诺(Carnot)研究了一个特殊而十分重要的循环,称之为卡诺循环。卡诺早期的著作及卡诺循环的研究为热泵(制热)或制冷技术的发展奠定了理论基础。Piazzi Smythe 教授大概是建议用这一原理制造冷机的第一个人,而 Willion Thomson 教授(稍后是 Lord Kelvin 勋爵),首先提出了实用的热泵系统。那时候称为“热量倍增器”,指出了制冷机也可以高效率地用于采暖。在提出这样一种系统的论据时,汤姆逊预见到这样的事实,即常规燃料的储备量,不允许人们在炉子里直接燃用燃料来取暖,而他的“热量倍增器”要比普通炉子少用燃料。汤姆逊提出的热泵系统使用空气作介质(工作流体),环境空气被吸入汽缸,然后在汽缸中膨胀,因而降低了温度和压力。跟着空气就通过安装在外面的空气—空气热交换器,在那里已降温的空气能从周围空气中吸收热量。在送入建筑物供暖以前,空气被压缩回原来的大气压力以使其温度高于环境温度。通常认为,在瑞士也成功地建造一台这样的机器。汤姆逊声称,只用直接采暖法的 3% 的能量,他的热泵就能产生出同样的热量来。

19 世纪 70 年代,应用这些原理开发制冷设备的工作取得了迅速的发展,当时制造了一些低温制冷机以满足冻肉市场的需要。1879 年英国 Glasgow 的 Bell Coleman 在由美国和澳大利亚运送肉类到英国去的船上安装了一套这样的设备。与此同时,用醚、氨或甲烷氯化物作为冷冻介质的蒸汽压缩机的开发也在进行。低温空气制冷机为二氧化碳机所取代。

1.1.2 20 世纪

在 20 世纪 20 年代制成了氨压缩机,30 年代小型制冷设备使用了甲烷氯化物,而到了 40 年代初,出现了第一个现代的卤代烷冷冻介质——R-12。

热泵本身的开发工作是同制冷设备的开发工作同时进行的,但从生活实际的需求情况

在开发制冷设备的整个历史时期内,由于各种原因热泵的开发工作落到后面。在 20 世纪 20 年代,当时 Krauss 和 Morey 在 Willion Thomson 论文的基础上,进行了重新论述并加以完善。从已安装和数量正在快速增加的制冷设备性能分析中来研究热泵的可行性。Haldane 进行了这方面的工作,他选用了 1891—1926 年运行的制冷装置,对其性能进行了数据分析,编制了对应于不同的输出温度所能达到的 C. O. P (性能系数)值的图 1-1。该图表明了热泵的 C. O. P 值为逆向卡诺机理论效率的 $1/3 \sim 1/2$ 。

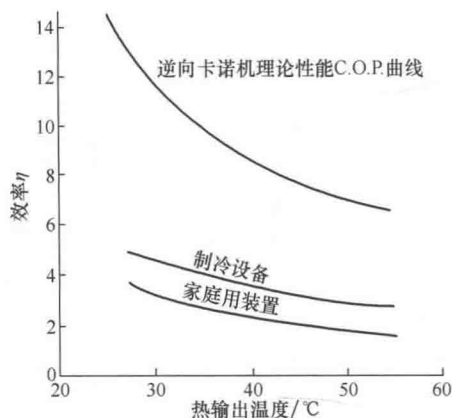


图 1-1 热泵性能系数

注:按哈尔登载热源温度为 4.4°C , 蒸发温度为 -6.7°C 测定数字绘制。

根据这些结果,他建议:应考虑可逆式热泵给建筑物供冷或供暖,并说明在游泳大厅用热泵回收能量具有特别的经济价值。Haldane 在 1930 年报道了他 1927 年安装在苏格兰的一台试验用热泵。用这台热泵给他的住宅供暖和给水加热,采用室外空气和管中的水作为热源,使用了一个低温热水散热器配热系统和一个电力驱动的制冷压缩机。冷冻介质为氨。由水力发电机组供电。这台热泵效果还是很好的。

最早的大规模热泵的应用是在南加利福尼亚爱迪生公司 (Southern California Edison Company) 的 Los Angeles 办公处。在那里,1930—1931 年间将制冷设备用于供暖,得到 $1.45 \sim 1.98$ 的 C. O. P 值。然而一般认为在最适宜的操作条件下,C. O. P 值能达到 2.32。

20 世纪 30 年代的经济困难给欧洲的热泵发展以有力的刺激,到 1943 年大型热泵已很可观。当时《电气服务》杂志以“能源经济和热力学热泵”为题发表了一篇专门报告列举了热泵可能的应用包括有:在冷凝过程中利用蒸汽潜热的蒸发式热泵,工业废热回收即用于环流供暖,以空气或水为热源的热泵装置。报告还建议利用透平机废热,以蒸汽透平启动热泵。在当时包括液体浓缩在内的工艺过程中利用热泵被认为是很经济的。

在上述报告所描述的装置中有在 1937—1941 年间安装起来的苏黎世议会办公大楼 (Zurich Council Hall),委员会办公大楼 (Congress Hall) 和游泳大厅 (Swimming Hall) 等热泵装置,也提到了安装在学校、医院、办公室和牛奶场的热泵装置。此外,Kemler 和 Oglesby 列举了在美国安装的 15 台商业用热泵,大部分是用水作为热源的,1948 年小型家庭用供热或供冷用可逆空调有了很大的发展。

1950 年前后在英、美就对使用地下盘管作为热源的家用热泵进行了研究。Baker 设计了一台配有防冻储槽的可逆热泵装置,Sumner 装置了一台以大地为热源的热泵,来给他的房间供暖。

Sumner 设计的向诺里奇 (Norwich) 一栋市政大楼供暖的试验机,是英国最早的大型热泵,1945 年投入运行,仅用了几年就被拆除了。计算得出的 C. O. P 值介于 $3 \sim 4$,整个采暖季节平均 C. O. P 值接近 4。

1951 年安装在伦敦泰晤士河岸的皇家庆典礼堂里的热泵装置,也是实验装置,是为礼堂冬季采暖,夏季降温设计的。该装置用泰晤士河的水作为热源,其压缩机为高速离心压缩

机,是由改良的莫林(Merlin)飞机发动机驱动的空气增压器改制而成,工作介质为R-12。这一系统由于设计余量太大,运行并不经济。

20世纪50年代按商品要求生产了一些家庭用热泵,其中1954年制成的一种热泵——佛兰蒂“冷箱—加热器”(Ferranti Fridge heater)通过吸收食品储藏室的热量,并用于加热水的家庭用装置,冬季的输入功率为0.7kW,夏季的输入功率为1.2kW。

前面提到美国热泵的发展,在此基础上到了20世纪50年代末至70年代美国人又做了许多工作,家用整体式热泵空调机有了批量生产。由于工程师廉价方便地把空调机安装到家庭或者小的商业用房间中,这样批量生产的第一年,工厂约存货1000台。1954年增加1倍,1957年增加了10倍,1963年生产了76000台。多数装在南部地区,夏季降温,冬季取暖。热泵就能同锅炉供暖进行有效的竞争。20世纪60年代美国电价降价,人们又转向直接用电取暖。但到了1973年能源危机,这又促使人们对热泵产生了强烈的兴趣,到1976年年底销量达到了300000台的高峰,到目前已成为每个家庭必不可少的装置。

家用热泵的开发和发展为工业热泵发展奠定了基础,并为逐步完善配套创造了条件,也就是说工业热泵的形成绝对离不开其前面家用热泵的发展,下面谈谈工业热泵的发展情况。

1.2 国外工业热泵的发展史^[3-4]

工业用热泵的发展是在家用空调式热泵和制冷机发展的基础上而发展起来的。工业热泵同制冷机和家庭热泵的原理相同,只是运行的温度范围及达到的目的不同而已。从资料报道所知,工业热泵在20世纪40年代左右已有应用,如第二次世界大战中在部队的舰艇及海岛上,用热泵蒸发技术从海水中制备淡水供士兵生活之用。这也促使热泵蒸发装置成百上千台制造了出来。日本人在20世纪40年代就采用此项技术,从海水中制备食盐,委内瑞拉的德加拉加斯和巴西的里约热内卢,1952年用蒸汽压缩蒸发法进行盐的制备,在20世纪50年代化工工业中已有不少应用。美国和法国先后已在核工程中采用了热泵蒸发浓缩技术来处理核废水。在能源紧张的今天,能用热泵蒸发技术的各行各业都在积极采用它。

1.3 我国热泵的发展

我国家用热泵的研发机构,20世纪六七十年代很少看到有报道的,就其从国外引进及扩大应用的历史也不是很久。80年代使用空调机、电冰箱的家庭也并不多。从2000年前后发展到现在,空调、冰箱已成了家家户户必不可少的家用电器了。

我国工业用热泵的研究,制造和应用在20世纪五六十年代报道的不多。从70年代起一些高等院校、科研单位开始了这方面的探索性的研究工作,如天津大学做了这方面的实验工作并有论文发表。中国原子能科学研究院从1975年到1979年间,建成了一套热泵蒸发装置(机械蒸汽再压缩)。设计能力为每小时蒸发250kg,但实验运行时达到330kg。在1980年至2003年间,国内也有关于热泵蒸发方面的文章报道,但成功的整套装置及工艺流程的文章很少看到。据我们了解制约我国这项技术发展的主要原因是压缩蒸汽的压缩机没有厂家制造,这样的不锈钢设备更是空白。2003年沈鼓集团公司为锦西天然气化工有限责任公司改造的每小时压缩15t水蒸气的蒸汽压缩机(产品代号:G11)研制完成,使离心式水蒸气

压缩机完全国产化,填补了国内这项空白。从此,使我国的热泵蒸发装置逐步走向规模化的生产道路。沈鼓集团在2012年、2013年又分别制造了同类型的每小时8t,46t,36t生产能力的压缩机。同时,长沙鼓风机厂有限责任公司也能生产罗茨式水蒸气压缩机。这就为我国发展该项技术扫除了障碍,目前化工、食品、制药、海水淡化等领域一些厂家已采用这样的技术在进行生产。今后,会有更广更快的发展,这必将为我国节能、环保和节约水资源做出大的贡献。

参 考 文 献

- [1] [英] R. D. 希普. 张在明译. 热泵[J]. 北京: 化学工业出版社, 1984, 3-9.
- [2] [英] D. A 雷伊, D. B. A 麦克米查尔, 著. 陈特璠, 译. 热泵的设计和应用[J]. 北京: 国防工业出版社, 1985, 1-4.
- [3] 山西省科学技术情报研究所. 热泵汇编[C]. 太原: 山西省科学技术情报研究所, 1985, 1-2.
- [4] J. H. Mallinson. Chemical Process Applications for compression Evaporation[J]. Chem. Eng., 1963. 70 (18): 75-82.