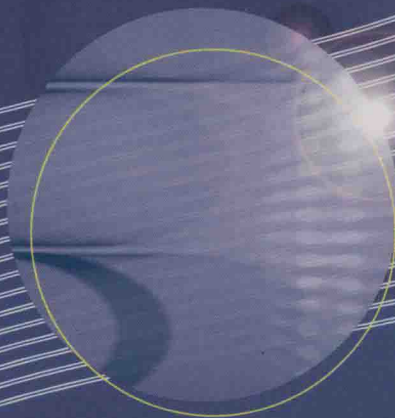
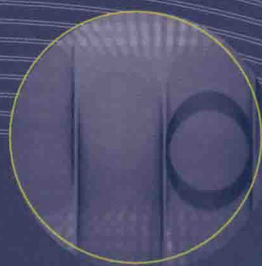
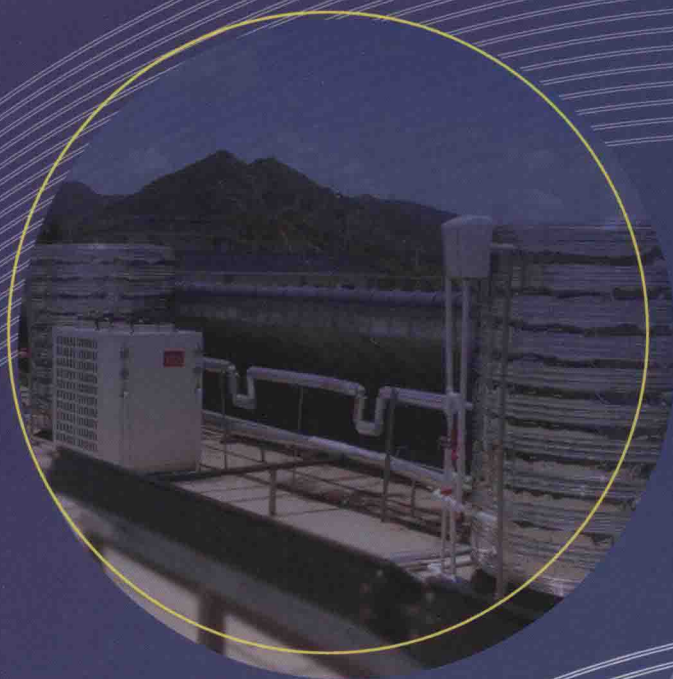


KONGQINENG REBENG RESHUIQI
DE YUANLI ANZHUANG SHIYONG YU WEIXIU

空气能热泵热水器

的原理、安装、使用与维修

刘共青 编著



化学工业出版社

KONGQINENG REBENG RESHUIQI
DE YUANLI ANZHUANG SHIYONG YU WEIXIU

空气能热泵热水器

的原理、安装、使用与维修

刘共青 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书以空气能热泵热水器为基本内容,阐述了热泵的原理、空气能热水器的产品特点、种类、安装、使用、维修技术等。介绍了相关的地源热泵的应用以及新型空气能热泵的发展和应用,还简要介绍了空气能热泵的设计过程。

本书主要面向空气能热泵、太阳能热水器的销售维修网点,空气能制造厂、干燥机生产厂以及与热水、干燥、制冷、取暖有关的制造企业和使用部门的人员;也面向家电维修点、装修电工、物业电工、农村村镇电工等;还可供大中专院校节能环保、供暖供水、制冷制热专业的教师和学生以及与热泵相关的供热制冷科研设计单位的设计人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

空气能热泵热水器的原理、安装、使用与维修/刘共青
编著. —北京:化学工业出版社, 2017. 10 (2018. 8重印)
ISBN 978-7-122-29988-8

I. ①空… II. ①刘… III. ①热泵-热水器具-基本知识
IV. ①TS914. 252

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 145946 号

责任编辑:戴燕红
责任校对:宋 夏

文字编辑:汲永臻
装帧设计:王晓宇

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 刷:北京虎彩文化传播有限公司
装 订:北京虎彩文化传播有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张22¼ 字数605千字 2018年8月北京第1版第2次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 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:98.00 元

版权所有 违者必究

近年来，在发达国家空气能热水器非常受欢迎，使用率高达 70%。在热泵高压技术领先的日本，空气能热水器的普及率已接近 80%。2012 年，空气能热泵热水器设备在西欧市场可以说是一枝独秀，越来越得到消费者的认可，发展很快。在众多供热设备当中，热泵热水器设备整体上涨了 7%，在德国、意大利、英国、法国、荷兰都有不俗的市场表现，其中英国热泵市场增长速度最快，高达 21%，这跟该国颁布有关热泵产品的扶持政策有关。

2015 年底，我国国家发改委在“国家重点节能低碳技术推广目录”中正式把“空气能热泵冷、暖、热水三联供系统技术”纳入推广目录；把“空气能热泵”纳入低碳技术目录。在 2016 年出台的《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》中提出：加快发展地热源供热、空气能供热、海洋能供热制冷等新能源产业的快速壮大……鼓励研发紧凑型户用空气源热泵装置等高水平的产业发展规划。目前许多处于温带、亚热带的国家也纷纷购买我国的空气能热水器，普及率也在逐步提高。

空气能热泵热水器之所以快速发展，取决于多方面的因素。首先，环境的恶化使人们对空气能热泵等新能源产品的需求变得更迫切，绿色环保是社会发展的必然参与因素，空气能热泵热水器就是时代需要的产物；其次，消费者认知度的提高，当环境因素影响了人们的正常生活，环保产品必然会引起大家关注。正因为存在以上两种需要，空气能热泵热水器势必得到了世界各国政府和消费者的普遍支持和认可。发达国家的空气能热水器市场相当成熟，占热水器市场比例高达七成。为了推广节能环保效果优秀的空气能热泵热水器，不少国家都有购买价 25% 的政策性补贴。

我国已经形成了完整的空气能热水器的产业带和产业链，主要集中在广东和江浙地区，其中广东地区的产量占全国产量的 70% 以上。由于不断完善的工艺、低廉的价格，我国的空气能热水器已经大批量出口，我国已经成为世界上空气能热水器最大的生产国和出口国。

在这种形势下，出版一本空气能热泵热水器的原理、安装、使用与维修的书十分有必要。

本书面向广大的太阳能、空气能热水器的经营店、维修中心的同行们；面向各级政府部门从事建筑节能、环境保护管理工作的工作人员；面向各级的节能中心、协会等社会机构的工作人员；面向各建筑设计院的设计人员；面向从事热泵、太阳能制造企业的管理人员、设计人员、制造人员、销售和售后服务人员；面向与热泵技术有关的科研机构、大专院校的科研人员、教师、学生；面向采用太阳能、空气能供应热水的绿色建筑、节能型小区的物业公司的管理人员和维修维护人员；面向农业战线推广科学种植大棚的新型农民科学家；面向工厂、机关、学校、部队、医院、宾馆等从事供暖、供热、供冷设备维护的工程师、管理人员和工人。亦可作为大中专学校的相关专业的教材和参考资料，也可作为各级节能培训机构的教材。

在本书四年的编写过程中，得到了空气能热泵同行无私的帮助，在此表示感谢。特别致谢以下同志为本书出版提供的帮助。佛山市创能热泵空调科技有限公司罗国志总经理，江苏丰盛绿色能源研究院马宏权博士，福州铁路局康景安同志为本书提供他们开发新产品的详细材料。这些技术都是他们赖以生存的技术，但为了更快地推广热泵节能技术，他们无私地为本书提供了宝贵的技术资料。深圳华腾金太阳科技有限公司的肖俊光、钟志良、雷文波、黄志聪、陈广深、钟育兵、王进强等同志，香港绿域环保科技有限公司黎明总经理提供了他们工作实践的经验和素材。山东太阳界蓝德智库的程洪智主编，河北省清洁能源供暖行业协会田跃文常务副会长，深圳市诺必达节能环保有限公司杨曙董事长，深圳市家家福实业有限公司何立釜总经理对本书的出版给予了大力支持。

本书计算部分经天津科技大学陈东教授审核。在此特表感谢。

编著者
2017 年 4 月 28 日

绪论

001

第一节 新能源的开发 /001

第二节 空气能热泵的发展史 /002

一、热泵的起源及发展历史 /002

二、我国空气能热泵热水器发展的历程 /005

第三节 热泵的当代新产品——空气能热泵热水器简介 /006

第一章 热泵原理和空气能热水器

009

第一节 空气能热泵技术概论 /009

一、空气能热泵的基本运行原理 /009

二、空气能热泵热水器的基本参数 /013

第二节 常见的空气源热泵的种类 /014

一、家用空气能热水器 /014

二、商用空气能热水器 /018

三、直热循环型空气能热水器 /019

四、泳池空气能热水器 /021

五、冷、暖、热三联供空气能机组 /022

六、空气能供暖机组 /024

七、烘干热泵机组 /025

八、地源热泵 /026

第二章 空气能热泵系统的基本原理

028

第一节 热力学基础知识 /028

一、能量和热能 /028

二、空气能热泵的参数 /029

三、热力学第一定律和热力学第二定律 /032

四、气液的变化规律和五种状态 /033

五、工质的热力过程 /035

六、热泵的工质 /037

第二节 热泵的基本理论与工作原理 /048

一、卡诺循环和卡诺定律 /048

- 二、热泵的理论循环 /050
- 三、实际循环 /054
- 第三节 蒸汽压缩式热泵循环的计算 /055
 - 一、性能指标及其计算公式 /055
 - 二、性能指标的计算示例 /056
- 第四节 蒸汽压缩式热泵循环的分析和改进 /060
 - 一、冷凝温度对循环性能的影响 /060
 - 二、蒸发温度对循环性能的影响 /061
 - 三、过冷度对循环性能的影响 /062
 - 四、过热度对循环性能的影响 /063
 - 五、环境温度和制热温度对热泵效率的影响 /063
 - 六、蒸汽压缩式热泵循环的改进 /065
- 第五节 空气能热泵的传热过程 /067
 - 一、空气的特性 /067
 - 二、水的特性 /070
 - 三、物体的传热原理和规律 /072
 - 四、空气能热泵的传热 /076
- 第六节 相变和储能 /083
 - 一、相变 /083
 - 二、储能 /083
 - 三、物体、热泵工质变化的潜热和显热 /084
 - 四、相变和储能在空气能热泵中的应用 /085

- 第一节 压缩机 /088
 - 一、电动机驱动部分 /088
 - 二、压缩机类型 /091
 - 三、常用压缩机的基本特性 /093
 - 四、压缩机的选型和计算 /101
- 第二节 冷凝器和热交换装置、过滤器 /102
 - 一、保温水箱式冷凝器 /103
 - 二、循环加热式换热器(冷凝器) /105
 - 三、选型和计算 /111
- 第三节 蒸发器和风机 /113
 - 一、蒸发器原理 /113
 - 二、蒸发器的计算和选用 /115
 - 三、风机的选用 /116
- 第四节 节流装置 /118
 - 一、毛细管 /118
 - 二、热力膨胀阀 /120
 - 三、电子膨胀阀 /123
- 第五节 其他辅助装置 /126

第一节 空气能热泵的自动控制 /132

一、自动控制的必要性 /132

二、自动控制的可靠性 /133

第二节 用于空气能热泵控制的基本元件 /135

一、开关量和模拟量 /135

二、高压低压开关 /136

三、热敏电阻及其温度传感器 /139

四、电子膨胀阀 /139

五、四通阀 /140

第三节 空气能热泵的控制系统的组成 /140

一、空气能控制系统的组成 /140

二、控制主板及要求 /141

三、总的控制部分的组成 /143

第四节 空气能热泵的控制形式 /147

一、基本的控制功能 /147

二、其他特殊的控制功能 /151

第五节 典型的空气能热泵热水器的控制器 /152

一、家用控制器技术规范范例 /152

二、工程用控制器技术规范范例(单机) /155

三、家用控制器显示器范例 /158

四、工程用控制器显示范例 /161

五、双机、多机用控制器的技术规范 /163

六、单台热水机组控制板接线图 /173

七、双机接线参考图 /173

八、目前空气能热泵控制的新动向 /173

第一节 主系统设计的要点 /176

一、系统确定前考虑的问题 /176

二、结合实际情况需考虑的一些问题 /178

第二节 系统规模的估计 /180

一、系统总的用水量估算 /180

二、空气能热泵功率的确定 /181

三、其他需要考虑的问题 /181

第三节 空气能热水工程系统的设计 /182

一、常规的空气能热泵热水系统图 /182

二、空气能太阳能等加热设施结合的安装图 /182

第四节 较大型的泳池类空气能热泵系统设计 /189

一、泳池用空气能热泵加热的要求和特点 /189

二、泳池空气能热泵系统的设计 /191

第五节 空气能热泵工程配套系统的设计和计算 /193

一、电气配套系统的计算 /193

二、工程水箱的设计和布置 /195

三、管道循环的几种方式及特点 /201

四、热水工程的管道配套工程的设计 /203

207

第六章 空气能热泵热水器的安装、维护和维修

第一节 准备安装 /207

一、安装中应注意的问题 /207

二、安装前的准备工作 /207

第二节 安装 /209

一、安装的具体步骤 /209

二、实际安装 /209

三、分体机的安装 /211

四、热泵工程的安装 /214

五、电气线路的安装 /220

六、空气能热水工程的调试和调整 /222

七、空气能热泵工程的验收 /223

第三节 空气能热泵热水器的使用和维护 /227

一、空气能热泵热水器的使用 /227

二、空气能热泵的日常维护 /228

三、空气能热水器的定期清洗 /228

第四节 空气能热泵热水器的维修 /230

一、空气能热泵的主要故障 /230

二、空气能热泵故障一览表 /235

三、空气能热泵的维修 /238

251

第七章 热泵系统的衍生产品和其他形式热泵系统的应用

第一节 地源热泵技术 /251

一、地源热泵的特点及性能 /251

二、土壤源热泵 /254

三、水源热泵系统 /258

四、地源热泵的设计概要 /263

五、地源热泵的管理 /264

第二节 太阳能热泵技术 /266

一、太阳能热利用的意义 /266

- 二、太阳能与空气能的结合 /266
- 三、太阳能热泵的特点 /268
- 四、比较理想的太阳能热泵 /270
- 第三节 低温环境下的空气能热泵应用 /271
 - 一、影响空气能热泵在低温环境下应用的几个因素 /272
 - 二、保证空气能热泵低温下正常工作的措施 /274
 - 三、外部部件的选用和改进 /281
 - 四、工质的选择 /282
 - 五、除霜 /283
 - 六、空气能热泵寒冷情况下的运行 /285
 - 七、空气能热泵低温运行案例 /286
- 第四节 空气能热水、空调高效一体机 /289
 - 一、制热、制冷的特点 /289
 - 二、制热、制冷高效一体机的思路 /290
 - 三、高效一体机实践 /293
- 第五节 空气能热泵干燥设备 /296
 - 一、空气能热泵用于干燥 /296
 - 二、工业干燥机 /299
 - 三、家用热泵干衣机 /300

第八章 空气能热泵系统的计算实践

303

- 第一节 空气能热泵热水器的计算 /303
 - 一、商用分体式热泵热水器的计算 /303
 - 二、一体式空气能热水器的计算 /305
- 第二节 其他用途空气能热泵的计算 /310
 - 一、空气能热泵暖气机的计算 /310
 - 二、家用热泵干衣机设计 /318

附录

323

- 附录一 热泵工质表 /323
- 附录二 其他技术数据表 /338

参考文献

352

绪论

导语：世界上将出现（实际已经出现）不消耗化学能源和电力等外部有价能源的汽车，即所谓的不吃任何东西能跑路的汽车，这就是空气能被充分利用的结果。

第一节 新能源的开发

当前，世界能源日益紧张。据有关资料统计，石油、天然气等化学燃料只剩下 20 年的开采期，特别是随着第三世界国家的发展，中国、印度等人口大国汽车的普及，更加剧了石油等化学燃料的紧张程度。这些化学燃料的用尽年限可能比专家们预测的还要短。而煤炭尽管还有大概 200 年的开采期，但用煤发电造成严重的环境污染，而且随着对劳动环境要求的不断提高，煤的开采成本也在不断上升。目前我国现状是百万吨煤死亡 3.4 人，即每年都有几百个工人为了开采煤矿而献出生命，这从另一方面要求人们尽量减少煤炭的用量。日本大地震引发的福岛核泄漏事件又加剧能源的紧张局面。因此寻找更安全更方便的能源供应，是世界各国所面临的问题。

我国是世界上资源比较贫乏的国家，主要资源的人均占有率低于世界平均水平。由于人口众多和经济的快速发展，使得我国已经成为世界能源消耗量最大的国家。在这种形势下，寻找新的替代能源，开发可再生能源，节约能源已经成为刻不容缓的工作。

1. 能源

所谓能源，是指能够直接或经过转换而获取某种能量（如热能、电能、光能和机械能等）的自然资源。理论上，任何物质中都含有能量，包括我们周围的空气。能源种类繁多，而且经过人类不断地开发与研究，更多新型能源已经能够满足人类需求。按能源的基本形式分类，能源可分为一次能源和二次能源。

（1）一次能源 指自然界现成存在的能源，如煤炭、石油、天然气、水能等。一次能源又分为可再生能源（水能、风能、太阳能、空气能、地热能、海洋能及生物质能、核能等）和非再生能源（煤炭、石油、天然气、油页岩等），其中煤炭、石油和天然气三种能源是一次能源的核心，它们成为全球能源的基础。

（2）二次能源 二次能源是指由一次能源直接或间接转换成其他种类和形式的能量资源，例如，电力、煤气、汽油、柴油、焦炭、洁净煤、激光、石油制品和沼气等能源都属于二次能源。后者指由一次能源加工转换而成的能源产品。

2. 新型能源

新近利用或正在着手开发的能源叫做新型能源。新型能源是相对于常规能源而言的，包括太阳能、风能、地热能、海洋能、生物能、氢能、空气能以及用于核能发电的核燃料等能源。由于新能源的能量密度较小，或品位较低，或有间歇性，按已有的技术条件转换利用的经济性尚差，还处于研究、发展阶段，只能因地制宜地开发和利用。但新

能源大多数是可再生能源，资源丰富、分布广阔，是未来的主要能源之一。

(1) 风能 风能(wind energy)是指地球表面大量空气流动所产生的动能。由于地面各处受太阳辐射后气温变化不同和空气中水蒸气的含量不同，因而引起各地气压的差异，在水平方向高压空气向低压地区流动，即形成风。风能资源决定于风能密度和可利用的风能年累积小时数。

(2) 地热能 地热能(geothermal energy)是由地壳抽取的天然热能，这种能量来自地球内部的熔岩，并以热力形式存在，是引发火山爆发及地震的能量。地球内部的温度高达7000℃，而在80~100公里的深度处，温度会降至650~1200℃。透过地下水的流动和熔岩涌至离地面1~5公里的地壳，热力得以被转送至较接近地面的地方。高温的熔岩将附近的地下水加热，这些加热了的水最终会渗出地面。运用地热能最简单和最合乎成本效益的方法，就是直接取用这些热源，并抽取其能量。地热能是可再生能源。

(3) 太阳能 太阳能(solar energy)，一般是指太阳光的辐射能量，在现代一般用作发电。太阳能的利用有被动式利用(光热转换)和光电转换两种方式。太阳能是一种新兴的可再生能源。

(4) 核能 核能(或称原子能)是通过核反应从原子核释放的能量。

(5) 海洋能 海洋能指依附在海水中的可再生能源，海洋通过各种物理过程接收、储存和散发能量，这些能量以潮汐、波浪、温度差、盐度梯度、海流等形式存在于海洋之中，形成了巨大的能量库。

(6) 空气能 地球的表面包裹着厚厚的大气层，我们称之为空气。空气是由气体和灰层、水分组成的，空气是有温度的，有温度就存在着能量。同时空气中的水分也包含温度和形态能，它包含的能量比气体要大。以前人们对空气中的能量认识不足，没有加以利用。随着科技的发展，人们提取空气中的能量成为可能，空气能被应用在诸如制热水等方面，并且随着科技的进一步发展，人们对空气能的应用将进一步扩大。

第二节

空气能热泵的发展史

一、热泵的起源及发展历史

热泵技术是一项相当“古老”的技术。早在1775年，爱丁堡的化学教师库仑即发现利用乙醚的蒸发，可以使水降温并且发生结冰的现象。他的学生布拉克从本质上解释了融化和汽化现象，提出了物质状态变化时的“潜热”概念，并发明了冰量热器，标志着现代制冷制热技术的开始。

法国的青年工程师卡诺在1824年发现了这一现象，只要增加气体的压力，就会提高其温度。反之，如果减小气体的压力，会降低其温度。并断言利用这一现象可以实现热量的转移。同年他还提出了能够提高做功效率的“卡诺循环”。但是由于当时机械制造技术的限制，卡诺本人并没有提出可以实现的热泵结构设计。卡诺循环当时针对的是热动力机，而卡诺循环的反向循环，即是热泵(或制冷)循环。卡诺发表的著名论文《关于火的动力》，首次提出了“卡诺循环”理论，成为热泵技术的最早起源。

随着工业革命的发展，19世纪初，人们对能否将热量从温度较低的介质“泵”送到温度较高的介质中这一问题产生了浓厚的兴趣。英国物理学家詹姆斯·普雷斯科特·焦耳

(1818~1889) 提出了“通过改变可压缩气体的压力就能够使其温度发生变化”的原理。

制冷(热泵)机组工作时, 蒸发器一端总是吸收热量, 而冷凝器一端总是释放热量, 而且两个过程总是同时进行的。在理想状态下, 冷凝器一端释放的热量要大于蒸发器一端吸收的热量。1850 年英国科学家开尔文注意到这一现象, 与电热丝发热相比, 同样的耗电在热端获得的热量要多很多倍, 他当时把这样的装置称为“能量倍增器”, 并首次描述了热泵的设想, 实际上是利用压缩和膨胀来实现热量的转移。这使得我们一直追求的低温的“低级能源”变成高温的“高级能源”变为可能。

到了 1834 年, 在伦敦工作的美国发明家波尔金斯(Perkins)造出了第一台以乙醚为工质的蒸气压缩式制冷机, 并正式申请了英国第 6662 号专利。这是后来所有蒸气压缩式制冷机的雏形, 直到今天也没有根本改变。但由于它使用的工质是乙醚, 很容易发生燃烧和爆炸, 影响了这种机型的推广应用。到 1875 年卡利和林德改用氨作制冷剂, 大大提高了制冷机的效率和稳定性(氨制冷机组至今还是相当重要的冷冻方法), 从此蒸气压缩式制冷机开始占据统治地位。

在此期间, 空气绝热膨胀会显著降低空气温度的原理也开始用于制冷。1844 年, 美国医生约翰·弋里用封闭循环的空气制冷机为患者改建了一台空调机, 这使他一举成名。威廉·西门斯在空气制冷机中引入了回热器, 进一步提高了制冷机的性能。1859 年, 卡列发明了氨水吸收式制冷系统, 并申请了原理专利。早期的冰箱即是由该原理制成。那时候的冰箱和现在的不同, 它需要一个小火炉为其供热, 火源可以是煤气或者是煤油。直到 20 世纪 30 年代, 由于蒸气压缩制冷技术的快速发展, 使用更为高效和方便, 才陆续取代了这种吸收式冰箱。1910 年左右, 马利斯·莱兰克发明了蒸气喷射式制冷系统。到 20 世纪, 制冷技术有了更大发展, 全封闭制冷压缩机研制成功。美国通用电器公司米里杰发现氟里昂制冷剂并用于蒸气压缩式制冷循环, 伯宁顿发明回热式除湿器循环以及热泵的出现, 都极大地推动了制冷技术的发展。

之后许多科学家和工程师对热泵技术进行了大量的研究, 将冷冻技术用于加热, 研究持续了 80 年之久。但由于当时采暖技术简单, 且价格低廉, 因此对热泵技术的需求不大。这就是热泵的发展明显地滞后于制冷机的原因。

直到 20 世纪 20~30 年代, 一方面由于制冷机的发展为热泵的制造奠定了良好的基础, 另一方面也由于社会上出现了对热泵的需求, 因此热泵得到了极大的发展。

1912 年, 瑞士的苏黎世成功安装了一套以河水作为低位热源的热泵设备用于供暖, 这是早期的水源热泵系统, 也是世界上第一套热泵系统。

1930 年, 英国的霍尔丹(Haldane)在自己的著作中报道了 1927 年在苏格兰安装试验的一台家用热泵的安装及试验情况, 这台热泵采用氨作为工质, 以空气为热源, 用于热水供应和采暖, 这是英国安装的第一台热泵。当时霍尔丹已能认识到通过简单的切换制冷循环来实现冬季供热、夏季制冷的可能性。

在这之后, 美国开始对热泵进行大量的研究和设计, 到 1931 年, 美国加州的安迪生公司在洛杉矶的办公大楼上安装了第一台大容量的热泵用于采暖, 制热量为 1050kW, 制热系数为 2.5。

1939 年, 欧洲第一台大型热泵出现于瑞士苏黎世的市政府大厦, 制热量为 175kW, 制热系数为 2.0, 以河水为低温热源, 工质是 R12, 持续向市政府输出温度为 60℃的热水, 有蓄热系统, 高峰负荷时采用电加热作为辅助加热手段。该装置夏季也能用来制冷。

热泵技术在 20 世纪 40~50 年代早期又获得迅速发展, 到 1943 年大型热泵的数量已相当可观。40 年代, 美国也开始对热泵有了进一步的认识。1948 年小型热泵的开发工作有

了很大的进展，家用热泵和工业建筑用热泵大批投放市场。英国在 20 世纪 50 年代也生产了许多小型民用热泵。1950 年左右，美、英两国开始了对使用地下盘管吸收地热作为热源的家用的热泵的研究工作。至 1950 年，已有 20 个厂商及 10 余所大学和研究单位从事热泵的研究，当时拥有的 600 台热泵中约 50% 用于房屋供暖，45% 为商用建筑空调，仅 5% 用于工业。通用电气公司生产的以空气为热源、制热与制冷可自动切换的机组，使空调用热泵作为一种全年运行空调机组进入了空调商品市场。

热泵技术在 20 世纪 50~60 年代（1952~1963）这 10 年中经历了迅速成长的阶段。由于热泵可以让制冷与采暖合用一套装置，在电力充足、电能价格又便宜的地区使用时运行费用很低，用户对此产生了兴趣，使热泵进入了早期发展阶段。1957 年美国决定在建造大批住房项目中用热泵采暖代替原先设想的燃气供热方案，这又使热泵的发展进入了一个高潮，至 60 年代初在美国安装的热泵机组已近 8 万台。然而，由于过快的产品增长速度造成设备制造质量较差、设计安装水平低、维修及运行费过高，到 1964 年热泵可靠性的问題已成了一个十分严峻的问题。又因 60 年代电价持续下降，人们对电加热器的需求不断增加，使之成了热泵发展的主要竞争对手，限制了热泵的发展，热泵工业进入了 10 年的徘徊状态。直至 20 世纪 70 年代中期，热泵才重新有了快速增长。这一方面是由于热泵技术的发展使机组可靠性提高，另一方面是 1973 年能源危机的推动。70 年代初期，人们广泛认识到矿物燃料在地球上是有限的，热泵以其回收低温废热、节约能源的特点，对产品性能和可靠性进行改进后重新登上历史舞台，受到了人们的青睐。比如美国，热泵的年产量从 1971 年的 8.2 万套猛增至 1976 年的 30 万套，1977 年再次跃升为 50 万套。至 1988 年，热泵式房间空调器年产量已达 321 万台。至 1999 年，包括热泵式的单元式热泵空调机年产量超过了 1000 万台。在此期间，在全世界范围内热泵的应用总的发展趋势是不断扩大，日本、瑞典等国小型的家用空气能热泵产量大幅提高。在英国、德国大型热泵装置与大型商业和公共建筑的热回收方案结合取得了一定成果。热泵技术进入了黄金时期，世界各国对热泵的研究工作都十分重视，诸如国际能源机构和欧洲共同体都制订了大型热泵发展计划，热泵新技术层出不穷，热泵的用途也在不断开拓，广泛应用于空调和工业领域，在节约能源和环境保护方面起着重大的作用。

我国热泵技术研究开发工作的起点和发展历程与国外相比有较大的差距。20 世纪 50 年代，天津大学热能研究所开始着手开展热泵方面的研究。从 60 年代开始，热泵在我国工业上开始得到应用。1965 年，上海冰箱厂研制成功我国第一台热泵型窗式空调机，制热量为 3720W。同年，天津大学与天津冷气机厂研制成功我国第一台水冷式热泵空调机，即我国最早的水源热泵机组，其研制者是天津大学吕灿仁教授。此后，我国热泵的研究开发工作取得了较快的进展。到 80 年代以后，热泵技术的研究日益受到人们的重视，但热泵产品主要以空气能热泵空调器和中小型的商用空气能热泵机组为主。1983 年在北京召开了中国制冷学会低势热源与热泵会议，总结了我国在这一领域中的研究成果。1988 年在广州由中国科学院广州能源研究所主持召开了热泵的专题研讨会，在会上对压缩式热泵、吸收式热泵和化学热泵进行了学术交流，热泵技术得到了进一步的重视。目前我国主要有天津大学、哈尔滨工业大学、清华大学、上海交通大学、同济大学、广东工业大学和中国科学院广州能源研究所等一批高校和研究院所研究热泵技术，许多制造商也在不断提高产品的可靠性。经过 20 多年的研究和开发，热泵技术在我国已取得了很大进步。

随着我国城市建设的快速发展，国家经济迅速增长，人民生活水平不断改善，我国空调行业迎来了前所未有的发展机遇。近年来我国家用单元式空调器产量的增长很快，截至 2002 年，我国家用空调（含热泵型）的产量为 3600 万台，若其中 70% 为热泵型空调，

则 2002 年我国热泵空调的产量达 2500 多万台。据统计, 作为制冷空调热泵关键部件之一的四通换向阀, 2005 年我国国内总产量就达 4355 万个, 若加上集中式空调系统的热泵系统, 这一数字还要增加。我国正逐步形成热泵的完整工业体系。20 世纪 90 年代, 热泵式家用空调器厂家约有 300 家, 空气能热泵冷热水机组生产厂家约有 40 家, 水源热泵生产厂家有 20 余家, 国际知名品牌热泵生产厂商纷纷在我国投资建厂, 形成了生产、销售和服务、产品研发机构一条龙的完整体系。

进入 21 世纪以来, 我国热泵理论研究工作比前 10 年显著加大了深度与广度, 打破了空气能热泵一统天下的局面和研究工作仅局限于空气能热泵的研究范畴。高等院校和科研单位纷纷对空气能热泵、水源热泵、地源热泵和水环热泵空调系统等进行了研究, 尤其是对大地耦合热泵的理论研究更活跃, 研究的内容也十分广泛, 包括热泵的变频技术与变容积技术、热泵计算机仿真和优化技术、热泵的无破坏环境工质替代技术、空气能热泵的除霜技术、多联式热泵技术等, 同时热泵热水器、海水源热泵、与太阳能结合的热泵系统等新产品不断涌现。但是, 目前热泵的理论研究仍是以跟踪国外的技术为主, 自主创新性研究工作较少。

目前热泵技术已成为解决暖通空调的能源与环境问题的有效措施之一。从热泵的发展历程可以看出, 热泵的发展不仅与国家经济发展水平和热泵本身的技术水平有关, 而且与能源结构和环境适应特别是政府的政策导向密切相关。尽管目前在世界范围内热泵作为空调产品已进入成熟期, 但发展节能型和环境友好型热泵的道路还很艰难。因此, 我国今后应加大热泵的基础性研究、强调关键技术创新、加强系统集成技术研究, 在关键的基础研究和应用基础研究方面取得突破, 以使我国的热泵技术健康发展和得到科学地推广与应用。

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热泵的研究。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。吕教授在文中指出了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。1994 年, 清华大学的徐秉业教授研制出国内第一台地源热泵机组; 2007 年, 哈尔滨工业大学顾文卿教授主编的《热泵生产新工艺、节能新技术与热泵系统创新设计、科学应用、性能测试及国内外标准实用手册》, 为制热热泵的设计和生起了很大的引导作用; 广东工业大学李凡等编写的《空气能热泵热水器》一书, 填补了国内空气能热水器知识的空白; 天津科技大学陈东教授主编的《热泵技术手册》, 为广大的热泵制热(冷)领域的技术工作者提供了宝贵的参考工具。随着我国政治和经济形势的变化, 热泵技术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。

二、我国空气能热泵热水器发展的历程

我国最早空气能热水器是山东的康特姆公司从澳大利亚引进的, 并且实现了产业化, 随后广东的豪瓦特公司、同益公司也先后研发了空气能热水器, 随后浙江的锦江百浪, 江苏的天舒, 广东的瑞姆、纽恩泰、菲尔普森、科霖、聚腾、生能、新时代、确正、美肯、德能、风驰、中宇等企业也陆续生产出空气能热水器。空气能热水器的出现, 给太阳能的从业者和广大的节能行业的科技人员带来了一种新的节能产品。由于空气能热水器全天候工作和节能 70%, 以及比太阳能投入少的优点, 使得它的产量和销量以每年 60% 的速度增长。到了 90 年代后期, 一些家电和太阳能的大公司纷纷加入空气能

热水器的行业，美的、扬子、荣事达、四季沐歌、格力、万家乐等大公司利用其雄厚的经济实力、较大规模的销售网络、强大的品牌效应，迅速占领了空气能热水器的市场，其中美的公司的产值达到10亿元以上。生产空气能热泵的相关企业也从2000年的不到10家发展到目前的600多家，2015年，我国的空气能的产值达到80亿元。2015年底，国家发改委在《国家重点节能低碳技术推广目录》中正式把“空气能热泵冷、暖、热水三联供系统技术”纳入推广目录，把“空气能热泵”纳入低碳技术目录。在2016年出台的《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》中提出，加快发展地热源供热、空气能供热、海洋能供热制冷等新能源产业，鼓励研发紧凑型户用空气源热泵装置等高水平的产业。

空气能的应用领域不断扩大，面对大型企业介入空气能热泵领域，许多空气能的老厂，利用比较成熟的空气能技术，拓展空气能热泵的新领域，比如深圳斯诺宝、风驰、广东新时代公司，广东的华天诚公司在热泵低温环境下的供热做了很多的尝试，已经生产出适应 -20°C 环境的供暖供热水空气能热泵。深圳华腾金太阳、广东正旭等公司，在空气能烘干方面做了很多的推广，取得不少经验，空气能热水器是太阳能普及的高级阶段，深圳华腾金太阳、惠州双和太阳能公司，在量大面广的家用空气能与家用太阳能结合方面不断探讨，利用自身熟悉太阳能热水器的应用的特点，生产出“太空能”热水器：一种太阳能与空气能结合的新产品，将节能水平提高到94%（理论）。在短短的十几年内，我国空气能产业从无到有，从小到大，得到了快速发展。

第三节

热泵的当代新产品——空气能热泵热水器简介

由于天气和气候的影响，太阳能的应用受到一定程度的限制，许多太阳能热水器要配套辅助加热装置才能全天候正常使用。为此，太阳能开发人员又将注意力投向另一个领域——空气能热泵热水器。

1. 空气能热泵热水器的定义

空气能热泵热水器就是利用热泵原理，从空气中吸收能量来制造热水的装置。

2. 空气能热水器的优点

（1）节能效果明显 空气能热泵热水器是热泵技术在制造热水方面的一个应用，是当今世界上最先进的能源利用产品之一。它的供热方式与传统的供热方式不同，它是以空气、水、太阳能等为低温热源，以电能为动力从低温侧吸取热量来加热生活用水，热水通过循环系统直接送入用户或进行小面积采暖。

而传统的加热装置，如燃气热水器、电热水器都是能量的转换装置，它们的功能在于把其他形式的能量转换为热能。例如，燃气热水器就是把燃气中的化学能通过燃烧转换为热能；而电热水器则是将电能通过电热丝发热转换为热能。根据能量守恒定律，这种转换装置的效率，由于转换过程中不可避免的热损失，只能是低于100%的。例如，容积式电热水器的热效率为85%~95%，普通燃气热水器的效率就更低，只有65%~80%。空气能热泵热水器与传统热水器耗能性经济对比分析见表1。

表 1 空气能热泵热水器与传统热水器耗能性经济对比分析

热水器类型	所需热量	热效率/%	热源单价	所需费用/元
电热水器	电	95	0.62 元/(kW·h)	30.5
燃油锅炉	柴油	85	6.3 元/kg	29.87
燃气锅炉	天然气	75	2.2 元/m ³	13.7
	管道煤气	70	0.9 元/m ³	13.6
	液化气	80	6.3 元/kg	29.35
空气能热泵热水器	电	400	0.62 元/(kW·h)	7.22

注：将 1t 水从平均温度 15℃ 加热至平均 55℃ 为例。

热泵热水器不是能量的转换装置，它是能量的“搬运装置”：它消耗少量的电能驱动压缩机运转，通过工质的循环以及蒸发器和冷凝器与外界换热，从空气中搬运热量到热水中，它自身消耗的那部分电能最终也通过摩擦完全转换为热能。理论上，因为热泵系统热端获得的热量等于由外界搬运来的一部分热能，加上电能转为热能的那一部分的总和。所以，热泵热水器的效率必然大于 100%，而且会远远高于 100%。在标准工况（即入水水温 15℃，环境温度 20℃，出水温度 55℃）的情况下，设计合理的热泵热水器，效率可以达到 450% 以上。即消耗 1kW·h 电，就可以产生电热水器消耗 3~4kW·h 电产生的热能。

热泵热水器是一种利用制冷原理（逆向卡诺循环原理），可以从自然界的空气、水或土壤中获得低品位热能，经过电力做功提升温度后输出到冷凝端，产生可被人们所用的、较高温度的高品位热的设备，是一种极其节能的采暖和热水设备。

热泵热水器避免了传统燃油、燃气和电热水器能耗大、污染严重、费用高等缺点，可节约 75% 的日常使用成本，运行不受阳光条件的制约，是目前学校宿舍、酒店、洗浴中心等场所的热水集中供应系统的最佳解决方案。

(2) 绿色环保 空气能热水器在运行过程中没有排放物，传热介质采用优质环保制冷剂，对大气及环境无任何污染，没有使用油、煤、气等矿物燃料所造成的环境污染，而且能源消耗极低，属于绿色环保型产品。符合我国能源产业和环境保护政策。

(3) 安全 使用热泵热水器时，水电分离，不存在泄漏、火灾、爆炸、漏电、干烧等隐患；机组内设有高压、低压保护，压缩机过流过载保护，启动延时，水流保护、水温超高保护、水箱水位保护等多重安全保护，运行比较可靠、性能稳定，使用寿命长达 10~15 年。

(4) 安装、使用适应性好 不受环境限制，不占用有效建筑面积，无需另设机房。可安装于车库、阳台、楼顶、厨房、储物间、地下室等设备层处，不影响建筑物外观。

一年四季全天候运行，不受夜晚、阴天、雨雪等恶劣天气影响。水温可以调节，保证人体的舒适度。

(5) 投资相对较少，回收快 相对于太阳能热水器来讲，空气能的投资较少，回收较快，这点在太阳能热水工程上尤显突出。在当前的市场上，如果用太阳能工程，大概每吨水的合理售价是 10000 元，如果还要配上空气能作为辅助加热，则每吨水要达到 13000 元。如果仅仅采用空气能热泵，则每吨水的合理售价是 7000 元。当然，用空气能造热水要耗电，也就是运行的费用要高于太阳能。

(6) 适用范围广 可用于酒店、餐馆、工厂、学校、医院、桑拿浴室、美容院、游泳池、温室、养殖场、洗衣店、家庭等场所；还可用于涂装、电镀、电泳、制药、化工、食品等行业需要热水的地方。

可单独使用，亦可集中使用，根据不同的供热要求，可选择不同的产品系列和安装