

电力需求侧管理资源调查系列丛书

# 热泵系统节能资源 调查与评估

国家发展改革委经济运行调节局  
南方电网公司市场营销部 编  
国家电网公司营销部



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电力需求侧管理资源

# 热泵系统节能资源 调查与评估

国家发展改革委经济运行调节局  
南方电网公司市场营销部 编  
国家电网公司营销部



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

电力需求侧管理是综合资源规划的重要组成部分,通过提高终端用电效率和优化用电方式,达到节约资源和保护环境的目的。为深入开展电力需求侧管理工作,国家发展和改革委员会经济运行调节局会同南方电网公司市场营销部、国家电网公司营销部组织有关单位和专家编写出版了《电力需求侧管理资源调查系列丛书》,用于指导电网企业需求侧管理人员更好承担需求侧管理实施主体责任,指导用能企业切实了解自身的能效水平,指导节能服务公司便捷地完成节能诊断。

本套丛书共分7个分册,包括《节约电力与蓄能系统资源调查与评估》《供配电节电资源调查与评估》《电机系统节电资源调查与评估》《中央空调节电资源调查与评估》《热泵系统节能资源调查与评估》《照明显节电资源调查与评估》和《分布式发电资源调查与评估》,从不同方面对需求侧管理资源调查与评估方法体系进行了论述,系统阐释电力需求侧管理资源潜力调查的内容和方法体系,具有较强的操作性与实用性。本分册为《热泵系统节能资源调查与评估》。

本套丛书可以为电力用户、能源服务机构等能源管理人员提供能源服务项目的初步可行性评估,同时为各地政府电力需求侧管理主管部门、电网企业开展电力需求侧管理工作提供方法参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

热泵系统节能资源调查与评估/国家发展改革委经济运行调节局,南方电网公司市场营销部,国家电网公司营销部编. —北京:中国电力出版社,2017.6

(电力需求侧管理资源调查系列丛书)

ISBN 978-7-5198-0385-8

I. ①热… II. ①国… ②南… ③国… III. ①热泵系统-节能-资源调查 ②热泵系统-节能-资源评估 IV. ①TB657

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第028924号

---

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:王 晶 马 青(010-63412784) 李文娟

责任校对:郝军燕

装帧设计:张俊霞 左 铭

责任印制:邹树群

---

印 刷:三河市万龙印装有限公司

版 次:2017年6月第一版

印 次:2017年6月北京第一次印刷

开 本:710毫米×980毫米 16开本

印 张:5.25

字 数:82千字

印 数:0001—2000册

定 价:25.00元

---

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

# 《电力需求侧管理资源调查系列丛书》

## 编写单位及人员

### 编 写 单 位

国家发展改革委经济运行调节局

南方电网公司市场营销部

国家电网公司营销部

### 编 写 委 员 会

主 任 许之敏

副主任 吴建宏 徐阿元

编 委 (按姓氏笔画排序)

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 王海龙 | 王小明 | 王 鑫 | 邝新武 | 江 迪 |
| 孙鼎浩 | 许燕灏 | 杨小云 | 何仁强 | 张 军 |
| 张兴华 | 张新建 | 陈 超 | 周伏秋 | 林 杰 |
| 罗 莉 | 赵远凉 | 徐 睿 | 夏 鑫 | 黄 炜 |
| 梁树华 | 童清雄 | 詹 硕 |     |     |

### 编 写 组

组 长 曹 重

副 组 长 林跃舜

编 写 人 员 (按姓氏笔画排序)

叶丰章 冯 发 石 坤 白 炜 付国仙

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 孙 皓 | 刘加根 | 刘 炜 | 刘憬奇 | 闫华光 |
| 江 真 | 李 扬 | 李亦宁 | 李德智 | 杨 彪 |
| 何宇坤 | 何 胜 | 宋总涛 | 汪 振 | 张崇超 |
| 陈宋宋 | 陈春常 | 陈 钢 | 林波荣 | 欧阳诚 |
| 周龙华 | 赵小军 | 徐 睿 | 翁军华 | 高赐威 |
| 栾晓东 | 凌 猛 | 董福海 | 彭龙生 | 章激扬 |
| 常 良 | 程文辉 | 傅晓锋 | 雷 鸣 | 廖卫列 |

技术总顾问 李 扬 高赐威

### 特别鸣谢

南方电网综合能源有限公司

国家电网公司电力需求侧管理指导中心

国家发展和改革委员会能源研究所

清华大学建筑学院

东南大学电力需求侧管理研究所

顺德中山大学太阳能研究院

中国电力科学研究院用电与能效研究所

杭州国电能源环境设计研究院

国际铜业协会

上海市能效中心

珠海市节能协会

北京清华同衡规划设计研究院有限公司

上海电机系统节能工程技术研究中心有限公司

国网节能服务有限公司

上海置信电气股份有限公司

常州天合光能有限公司

广州智光节能有限公司

广州艾思高能源科技有限公司

北京恩耐特分布能源技术有限公司

北京世纪源博科技股份有限公司

大连易世达新能源发展股份有限公司

同方川崎节能设备有限公司

胜利油田胜利动力机械集团有限公司

电力需求侧管理是综合资源规划 (integrated resource planning, IRP) 的重要组成部分, 通过提高终端用电效率和优化用电方式, 达到节约资源和保护环境的目的。为深入开展电力需求侧管理工作, 增强全社会参与需求侧能效项目的能力, 国家发展和改革委员会经济运行调节局会同南方电网公司市场营销部、国家电网公司营销部组织有关单位和专家编写出版了《电力需求侧管理资源调查系列丛书》, 用于指导电网企业需求侧管理人员更好承担需求侧管理实施主体职责, 指导用能企业切实了解自身的能效水平, 指导节能服务公司便捷地完成节能诊断。

本套丛书尝试为读者建立一种电力需求侧管理资源调查与评估的方法, 从用能客户的微观层面获取需求侧资源的潜力和解决方案。为便于了解文中的主要内容和逻辑关系, 对有关概念做如下说明。

## 一、电力需求侧管理资源的定义

电力需求侧管理 (demand side management, DSM) 是指为提高电力资源利用效率, 改进用电方式, 实现科学用电、节约用电、有序用电所开展的相关活动。实施电力需求侧管理具有显著的经济效益和社会效益。对于电力用户, 可以降低用电负荷和用电量, 减少电费支出, 提高用电安全性、可靠性, 从而降低企业经营成本、提高产品竞争力, 还可以通过在线监测有效提升管理水平。对于电网企业, 可以削减高峰用电负荷, 在电力供应紧张时有效缓解限电压力; 可以提高电网设备利用率, 促进电网安全、经济运行, 延缓或减少电网建设所需投资。对于社会, 可以减少一次能源的消耗, 减少对供电资源的占用, 从而促进环境保护与资源节约。

电力需求侧管理资源指终端用电领域的节电和转移电力的资源, 凡是有用电的地方都存在潜在的节电和转移电力的资源。概括起来大致包括:

(1) 提高照明、空调、电动机及系统、电热、冷藏、电化学等设备用电

效率后可以节约的电力和电量。

- (2) 蓄冷、蓄热、蓄电等改变用电方式可以转移的电力和电量。
- (3) 能源替代、余能回收可以减少和节约的电力和电量。
- (4) 合同约定可中断负荷可以转移或节约的电力和电量。
- (5) 建筑物保温等改善用电环境可以节约的电力和电量。
- (6) 用户改变消费行为减少或转移用电可以节约的电力和电量。
- (7) 自备电厂参与调度后电网可以减供的电力和电量。

## 二、电力需求侧管理资源的界定和分类

需求侧管理资源按照其可开发情况可分为技术可开发资源、经济可开发资源。

(1) 技术可开发资源。即在一定时期内，对于技术而言存在可行性的节电资源，即只要以更高效率的技术替换现有技术，便可能获得的资源节约量。

(2) 经济可开发资源。即不仅存在技术可行性，也同时满足经济要求的节电资源，具体做法是在满足技术可行性的基础上进行成本效益分析，从而得出具有经济效益的节电资源。

电力需求侧管理资源按照其资源属性，可以分为三类：可节约的电力资源、可节约的能量资源以及可替代的资源。

(1) 可节约的电力资源。指电功率(kW)的节约量，根据电力系统的负荷特性，以某种方式将用户的电力需求从电网负荷高峰期削减，或将其转移到电网负荷低谷期，减少日或季节性的电网峰荷，促使电力需求在不同时序上合理分布，增加低谷期设备利用率，提高系统运行的可靠性和经济性。

(2) 可节约的能量资源。指电量(kWh)的节约量，是指以提高电能利用效率为目的，通过各种节电改造项目、技术、产品、工艺等挖掘的节约电能消耗量，从而减少因发电而消耗的一次能源以及其他社会资源，是一种可循环的资源。典型的电力需求侧可节约能量资源开发范例为能效电厂，即以电量节约的方式满足用户的用电需求，实现供需平衡，同时还能带来其他效益，如减少污染物的排放、减少对煤的需求、提高电力系统运行的经济性和可靠性等。

(3) 可替代的资源。指被清洁能源替代的能量(kWh)，从广义上讲，电力替代也是电力需求侧资源之一，是节能、节电的重要措施。电力产品面临的替代品主要有天然气、风能、太阳能等，尤其是天然气在发电、民用方面



有着良好的替代性，可以减轻缺电压力，更加清洁，并提高能源利用效率。

### 三、电力需求侧管理资源调查对象及方法

本套丛书所称调查方法是对电力需求侧管理节电资源调查一般方法的阐述，是典型调查、一般调查和抽样调查方法的结合，根据每个特定节电领域的具体特点而灵活开展。调查评估机构接到某一节电资源调查评估任务后，可按照以下工作程序完成相关任务：收集前期资料、准备相关调查测试器材、办理入场许可、开展现场调查、编制调查评估报告。

电力需求侧管理资源具体的调查对象为：

(1) 各供配电单位。通过供配电单位以往的运行数据，得到电力系统的负荷特性，从而可以用某种方式将用户的电力需求从电网负荷高峰期削减，或将其转移到电网负荷低谷期，减少日或季节性的电网峰荷，促使电力需求在不同时序上合理分布，增加低谷期设备利用率，提高系统运行的可靠性和经济性。

根据调查供配电单位的变压器、线路和无功补偿装置的现状，相关厂家改造的费用等基本情况，进而分析供配电系统经济运行、节电改造和改善电能质量所节省的电力与电量资源，进行相关的电力需求侧管理项目。

(2) 各用电单位。电力需求侧管理资源调查工作展开的主体可以是政府、电力公司或用户本身，对于政府相关决策机构，电力需求侧管理资源调查要整合全社会需求侧管理资源，制定需求侧管理资源调查工作机制，因此调查对象需要包含全社会各行业。对于用户本身，需求侧管理资源调查工作旨在挖掘本身潜力，达到节电，降低经济运行和企业的经营成本，提高产品竞争力。

电力需求侧管理资源调查可以采用抽样调查与典型用户调查结合的方法，具体流程图如图 I 所示。

根据电力需求侧管理目标，分析电力需求侧管理资源调查需要得到的用户信息，主要包括用户用电潜力信息以及用户价值信息。通常来说，用户电力需求侧资源的潜力信息需要深入了解用户负荷特性、开展实地调研；用户价值信息可以采取文案调研的方法。

开展电力需求侧资源实地调研需要借助调查表。需要根据信息需求，合理设计调查表。根据电力需求侧资源调查方案编制的需要，调查表需要涉及以下几方面的信息：用户基本信息，主要设备的负荷及运行特点、重要程度，企业生产班次和厂休情况，企业生产设备检修计划，可中断负荷控制对企业

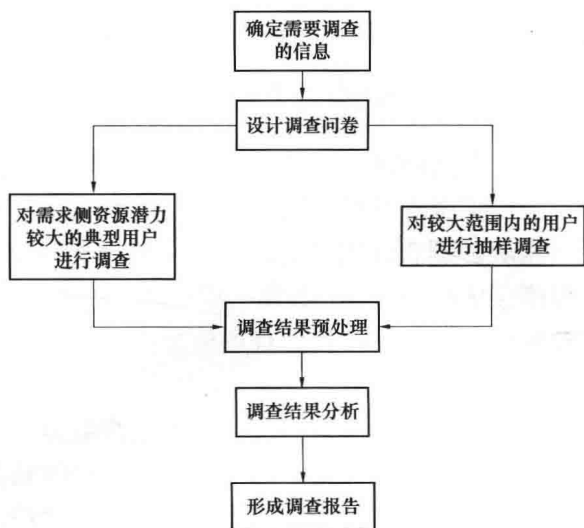


图 I 电力需求侧资源调查工作流程

生产安全、生产成本、代工范围等方面的影响，蓄能技术的情况等。同时，调查表应当具备信息完备、简洁易懂、操作性强等特点。

可节约电力资源调查采用文案调研与实地调研相结合的方法。对于用户电力需求侧资源潜力信息，主要采用实地调研的方法。对于重点行业、重点用户负荷特性调查，实地调研可以以调查表为主要调研依据，采用现场调查、问卷调查和交流访谈等方法，提出具体的实地调研方案，并就相关注意事项做出说明。

此外，文案调研方法也是节电资源调查的重要方法。用户信息（尤其是用户价值信息）如单位产值电耗、电费收益率、对于经济的促进作用等，可能来自于不同的信息渠道。在对信息搜集渠道进行分析的基础上，提出各类信息的获取途径和方法。

本套丛书按照通用设备节电资源的分类，包括《节约电力与蓄能系统资源调查与评估》《供配电节电资源调查与评估》《电机系统节电资源调查与评估》《中央空调节电资源调查与评估》《热泵系统节能资源调查与评估》《照明节电资源调查与评估》《分布式发电资源调查与评估》等 7 个分册，分别从需求响应节约电力、空调蓄能、供配电系统、电机系统、中央空调、热泵系统、分布式光伏发电、天然气分布式能源、煤层气综合利用和余热余压发电等方面对需求侧管理资源调查与评估方法体系进行了论述，站在电力需求侧管理

的角度，从市场需求出发，系统阐释电力需求侧管理资源潜力调查的内容和方法体系，具有较强的操作性与实用性，可以为电力用户、能源服务机构等能源管理人员提供能源服务项目的初步可行性评估，同时为各地政府电力需求侧管理主管部门、电网企业开展电力需求侧管理工作提供方法参考。

丛书的编写得到了南方电网综合能源有限公司、东南大学、国家发展和改革委员会能源研究所、中国电力科学研究院等单位、机构和专家的大力支持，尤其南方电网综合能源有限公司结合自身节能业务开展情况提供了大量调查表及案例支持，在此一并表示感谢。

限于编者水平，书中难免有欠妥之处，诚恳欢迎读者批评指正。

**编 者**

**2017年2月**

热泵技术是应用低品位能源的重要技术措施之一。利用热泵系统节约电力资源,对环境改善、提升全社会能源利用水平具有重要作用,对用电客户也有着非常直观的经济效益。

本分册对热泵系统节能资源的概念进行了界定,介绍了热泵节能技术的分类、技术特点和发展趋势,引导成熟节能技术的推广应用。通过调查表及必要测试的方式可获取热泵节能资源的基本状态,通过给出的热泵能耗定额指标制定技术可行、经济合理的热泵节能技术方案,最后以案例的形式展示开展热泵节能资源调查与评估的方法和过程。

本分册由清华大学建筑学院林波荣、彭渤主编,全书由东南大学电力需求侧管理研究所李扬教授主审。南方电网综合能源有限公司董福海、常良、刘炜,北京清华同衡规划设计研究院李敏、张雪捷、郑天添、左慧嫻等参与了有关内容编制,一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏之处,恳请各位专家和读者提出宝贵意见。

**编 者**

**2016 年 12 月**

丛书前言

本书前言

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第一章 热泵系统节能资源概述 .....     | 1  |
| 第一节 热泵技术简介 .....         | 1  |
| 第二节 热泵节能资源 .....         | 11 |
| 第三节 热泵技术节能资源调查 .....     | 15 |
| 第二章 热泵节能技术 .....         | 17 |
| 第一节 热泵技术发展趋势 .....       | 17 |
| 第二节 热泵主要技术难点 .....       | 18 |
| 第三节 推荐节能技术 .....         | 22 |
| 第三章 热泵节能调查 .....         | 29 |
| 第一节 热泵改造调查工作流程 .....     | 30 |
| 第二节 热泵调查表设计 .....        | 33 |
| 第三节 热泵改造现场测试方法 .....     | 39 |
| 第四章 热泵节能资源评估 .....       | 42 |
| 第一节 热泵节能技术选择 .....       | 42 |
| 第二节 热泵能耗定额设定 .....       | 42 |
| 第三节 热泵节能技术方案选择 .....     | 44 |
| 第四节 热泵节能技术经济效益评价方法 ..... | 47 |
| 第五章 热泵节能资源调查案例 .....     | 48 |
| 第一节 调查案例（一） .....        | 48 |
| 第二节 调查案例（二） .....        | 53 |
| 参考文献 .....               | 66 |

## 第一章

# 热泵系统节能资源概述

本章主要给出热泵技术、热泵节能及其资源调查的基本概念,确定有关热泵节能资源调查的边界条件。

在资源紧缺的当今,人们越来越关注如何通过一定的技术,将储存在土壤、地下水、地表水或空气中的自然能源以及生活和生产排出的废热,用于建筑物采暖和热水供应。基于这种理念,随着热泵技术的进步和发展,人们充分认识到热泵技术是应用低位可再生能源的重要技术之一。

进入 21 世纪后,热泵技术的快速发展不仅是为了解决能源问题,更重要的是为了改善环境问题。如果将从 20 世纪 70 年代末到 90 年代初热泵的发展作为热泵发展的第一次兴旺期,那么进入 21 世纪后,由于人们要求减少温室效应,提高能源利用效率变得更加迫切,出于改善环境的目的,热泵技术将经历第二次兴旺的可持续发展,将实现暖通空调的生态化和绿色化<sup>[1]</sup>。

热泵技术不仅适用于新建项目,在既有项目改造中的应用也十分广泛。本节介绍热泵相关技术,以便促进热泵在既有项目改造中的应用。

## 第一节 热泵技术简介

热泵是将中低温热能转化为中高温热能的装置,其基本特点是只需消耗少量高品位能源,即可制取大量的中高温热能。

通常用于热泵装置的低品位能源是我们周围的介质——空气、河水、海水,或者是从工业生产设备中排出的工质,这些工质常与周围介质具有相接近的温度。热泵装置的工作原理与压缩式制冷机是一致的。在小型空调器中,为了充分发挥它的效能,夏季制冷或冬季取暖都是使用同一套设备来完成的。在冬季取暖时,将空调器中的蒸发器与冷凝器通过一个换向阀来调换工作,

也就是在夏季空调降温时，按制冷工况运行，由压缩机排出的高压蒸汽，经换向阀（又称四通阀）进入冷凝器。制冷剂蒸汽被冷凝成液体，经节流装置进入蒸发器并在蒸发器中吸热，将室内空气冷却，蒸发后的制冷剂蒸汽，经换向阀后被压缩机吸入，这样周而复始，实现制冷循环。而在冬季取暖时，先将换向阀转向热泵工作位置，于是由压缩机排出的高压制冷剂蒸汽，经换向阀后流入室内蒸发器（做冷凝器用）。制冷剂蒸汽冷凝时放出的潜热将室内空气加热，达到室内取暖目的，冷凝后的液态制冷剂反向流过节流装置进入冷凝器（做蒸发器用），吸收外界热量而蒸发，蒸发后的蒸汽经过换向阀后被压缩机吸入，完成制热循环。这样，将外界空气（或循环水）中的热量“泵”入温度较高的室内，故称为热泵。以土壤源热泵为例，热泵系统工作原理如图 1-1 所示。

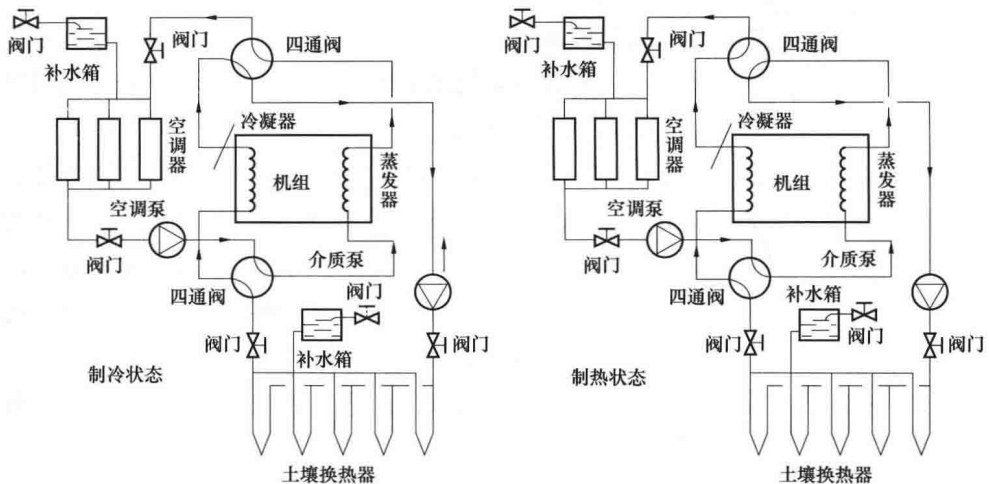


图 1-1 土壤源热泵系统工作原理

### 一、热泵技术相关术语

- （1）第一类热泵是用少量高品位能源制取大量中高温热能的热泵，我们所说热泵通常指第一类热泵。
- （2）第二类热泵是用大量中低温热能制取少量高温热能的热泵。
- （3）热用户指热能的需求方，也可理解为高温热汇，如需采暖的房间等。
- （4）低温热源指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）驱动能源指驱动热泵运行的高品位能源，如热能、电能、燃料等。

(6) 热泵制热量指提供给热用户的中高温热能, 也指热泵的制热速率, 单位为  $W$ 。

(7) 热泵耗能量指驱动热泵运行所需的能量, 也指热泵的耗能速率, 单位为  $W$ 。

(8) 热泵吸热量指第一类热泵从环境等低温热源中吸取的免费热能, 也指热泵的吸热速率, 单位为  $W$ 。

(9) 制热系数是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  $COP$  表示。

(10) 热泵工质是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。

## 二、热泵分类

### (一) 按热泵的驱动能源分类

(1) 电动热泵, 以电能为驱动能源的热泵。

(2) 燃气热泵, 以天然气、煤气、液化石油气、沼气等气体燃料的化学能为驱动能源的热泵。

(3) 燃油热泵, 以汽油、柴油、重油等化学燃料作为驱动能源的热泵。

(4) 蒸汽驱动热泵, 以蒸汽热能为驱动能源的热泵。

(5) 热水驱动热泵, 以中高温热水的热能为驱动能源的热泵。

(6) 太阳能热泵, 以太阳能产生的热能或电能为驱动能源的热泵。

### (二) 按热泵的低温热源分类

(1) 空气源热泵, 以环境空气作为低温热源的热泵。

(2) 水源热泵, 以地下水、海水、河水、湖水、城市污水等水体作为低温热源的热泵。

(3) 土壤源热泵, 以 2~200m 深的土壤为低温热源的热泵。

### (三) 按热泵工作原理分类

基于热泵的工作原理, 热泵可分为蒸汽压缩式热泵、气体压缩式热泵、吸收式热泵、吸附式热泵等, 其中蒸汽压缩式热泵的制热系数高; 热泵工质多样, 可满足热用户对不同制热温度的需要; 机组规模大、中、小均可, 应用最为广泛。



### 三、常见热泵系统介绍

#### (一) 空气源热泵

空气源热泵热水机组技术是基于逆卡诺循环原理建立的一种节能、环保制热技术。空气源热泵热水机组系统通过自然能（空气蓄热）获取低温热源，经热泵系统高效集热整合后成为高温热源，用来供暖或制取卫生热水。整个系统集热效率较电热水机组（锅炉）、燃油、燃气热水机组有了很大提高。

空气源热泵热水机组遵循能量守恒定律和热力学第二定律，运用热泵的原理，只需要消耗一小部分的机械功（电能），便可以将处于低温环境（大气）中的热量转移到水中，制取高温的热水。热泵可以与水泵相比拟，水是不能自发地从低处流向高处，要将低处的水输送到高处，必须用一台水泵，消耗一部分电力才能将水送到高处的水箱中。同样，根据热力学第二定律，热量也是不能自发地从低温环境向高温环境中转移（传送），而要实现这个目的，必须要有一台机器，消耗一部分能量（如电能）才能将低温环境中的热量传送到高温环境中去。这样的机器就称之为“热泵”。热泵的作用是将空气中的热量取出，连同本身所用的电能转变成的热能，一起送到水中。

空气源热泵热水机组由压缩机、冷凝器、蒸发器和膨胀阀等部件组成。它运用逆卡诺循环原理，通过压缩机做功使工质产生相变（气态—液态—气态），在这种循环往复的相变过程中，蒸发器不间断地从环境吸取热量、冷凝器（换热器）不间断地放出热量使冷水逐步升温，制取的热水通过热水管网循环装置输出到用户使用终端。

空气源热泵热水机组特点：目前市场上空气源热泵热水机组大部分属于技术成熟产品；压缩机一般采用涡旋式或活塞式，也有采用螺杆式的；每台机组一般有单台或两台压缩机。一般机组有如下特点：

(1) 高效节能。其输出能量与输入电能之比即能效比（ $COP$ ）一般可达到 3.0 以上，而普通电热水锅炉的能效比（ $COP$ ）不大于 0.90，燃气锅炉、燃油锅炉的能效比（ $COP$ ）一般只有 0.7~0.8，燃煤锅炉的能效比（ $COP$ ）更低一般只 0.35~0.65。

(2) 安全有保障。加热方式实现了完全的水电分离，从根本上杜绝了普通热水器系统中的易燃、易爆、触电、干烧、煤气中毒等安全隐患。

(3) 环保。无废水、废渣、废热、废气排放，不会对大气和环境产生任何污染。