

太阳能热泵系统

李锐¹, 张建国¹, 俞坚¹, 王志峰², 高瑞恒¹

(1.北京工业大学 环境能源学院, 北京 100022; 2.中国科学院 工程热物理所, 北京 100080)

摘要: 太阳能与热泵相结合的技术是新能源利用技术发展的重要方面。文章介绍了太阳能热泵的基本知识,并结合所做的相关试验分析了太阳能和热泵相结合应用的特点。

关键词: 太阳能; 热泵; 热水器;

中图分类号: TK515 **文献标识码:** B **文章编号:** 1671-529X(2004)04-0030-03

Solar heat pump (SHP) system

LI Rui, ZHANG Jian-guo, YU Jian, WANG Zhi-feng, GAO Rui-heng

1 太阳能热泵的发展背景

随着世界能源消费量的大幅度增长,人们把能源利用的重点转移到可再生能源的开发和利用上来。太阳能以其取之不尽、廉价、安全、无需运输、清洁无污染等特点受到人们的重视,光热、光电、光化学等太阳能利用技术已迅速地发展起来。由于太阳能受季节和天气影响较大、热流密度低,导致各种形式的太阳能直接热利用系统在上应用上都受到一定的限制。随着生活水平的提高,热用户对于供热的要求也越来越高,太阳能利用的一些局限性日益显现出来:①在太阳辐照时间少的国家和地区,其应用受到很大限制;②白天集热板板面温度的上升会导致集热效率下降;③在夜间或阴雨天没有足够的太阳辐射时,无法实现 24 h 的连续供热,如采用辅助加热方式,势必又要消耗大量的其它能源;④加热周期较长;⑤传统的太阳集热器与建筑不易结合,在一定程度上影响了建筑的美观;⑥常规的太阳热水器需要在房顶设水箱,在夜间气温较低时,储水箱和集热器向外界散热造成大量的热量损失。

为克服太阳能利用中的上述问题,人们不断探索各种新的更高效的能源利用技术,热泵技术在此过程中受到了相当的重视。热泵是通过消耗一定量的外功把热能从低温热源输送到

高温热源的装置。根据热源不同,可分为水源、地源、气源等形式的热泵;根据原理不同,又可分为吸收/吸附式、蒸汽喷射式、蒸汽压缩式等形式的热泵。蒸汽压缩式热泵因其结构简单,工作可靠,效率较高而被广泛采用,其工作原理如图 1 所示。

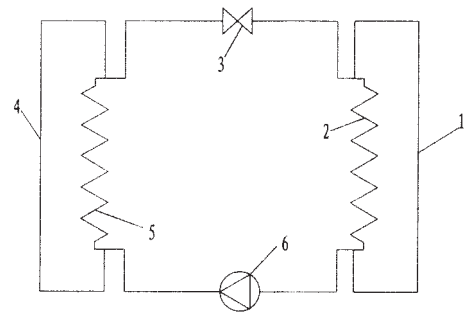


图 1 蒸汽压缩式热泵原理示意图

1-低温热源; 2-蒸发器; 3-节流装置; 4-高温热源; 5-冷凝器; 6-压缩机

蒸汽压缩式热泵在实际应用中也遇到了一定的问题,最为突出的就是当冬天的大气温度很低时,热泵系统的效率比较低。针对此问题一些研究者提出:既然太阳能热利用系统中的集热器在低温时集热效率较高,而热泵系统在其蒸发温度较高时系统效率较高,那么可以考虑采用太阳能加热系统来作为热泵系统的热源。

收稿日期: 2004-02-11

作者简介: 李锐(1973-),男,汉族,硕士研究生,研究方向:太阳能热泵热水系统。

这种太阳能与热泵联合运行的思想,最早是由 Jordan 和 Threlkeld 在 20 世纪 50 年代的研究中提出。在此之后,世界各地有众多的研究者相继进行了相关的研究,并开发出多种形式的太阳能热泵系统。

2 太阳能热泵系统

早期的太阳能热泵系统多是集中向公共设施或民用建筑供热的大型系统,比如 20 世纪 60 年代初期, Yanagimachi 在日本的 Tokyo, Bliss 在美国的 Arizona 都曾利用无盖板的平板集热器与热泵系统结合,设计了可以向建筑供热和供冷的系统,但是由于效率较低、初投资较大等原因没有推广开来。后来,出现了向用户供应热水的太阳能热泵系统,特别是近些年来,供应 40~70℃ 的中温热水的系统引起了人们广泛的兴趣,相继有众多的研究者都对此进行了深入的研究。

按照太阳能和热泵系统的连接方式,太阳能热泵系统分为串连系统、并联系统和混合连接系统,其中串连系统又可分为传统串连式系统和直接膨胀式系统。

传统串连式系统如图 2 所示。

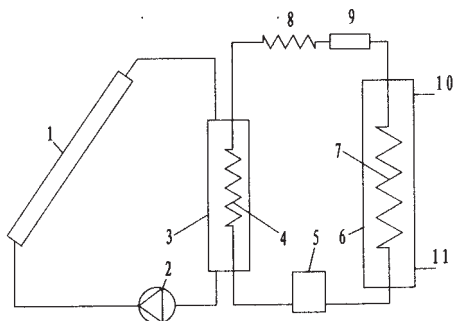


图 2 传统串联的太阳能热泵系统

1-平板集热器; 2-水泵; 3-中间换热器; 4-蒸发器; 5-压缩机; 6-水箱; 7-冷凝盘管; 8-毛细管; 9-干燥过滤器; 10-热水出口; 11-冷水入口

在该系统中,太阳能集热器和热泵蒸发器是两个独立的部件,它们通过储热器实现换热,储热器用于存储被太阳能加热的工质(如水或空气),热泵系统的蒸发器与其换热使制冷剂蒸发,通过冷凝将热量传递给热用户。这是最基本的太阳能热泵的连接方式。

直接膨胀式系统如图 3 所示。

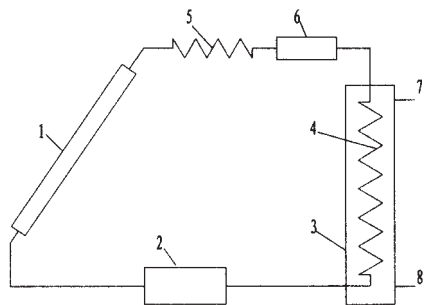


图 3 直接膨胀式太阳能热泵系统

1-平板集热器; 2-压缩机; 3-水箱; 4-冷凝盘管; 5-毛细管; 6-干燥过滤器; 7-热水出口; 8-冷水入口

该系统的太阳集热器内直接充入制冷剂,太阳集热器同时作为热泵的蒸发器使用,集热器多采用平板式。最初使用常规的平板式太阳集热器;后来又发展为没有玻璃盖板,但有背部保温层的平板集热器;甚至还有结构更为简单的,既无玻璃盖板也无保温层的裸板式平板集热器。有人提出采用浸没式冷凝器(即将热泵系统的冷凝器直接放入储水箱),这会使得该系统的结构进一步地简化。目前直接膨胀式系统因其结构简单、性能良好,日益成为人们研究关注的对象,并已经得到实际的应用。

并联式系统如图 4 所示。

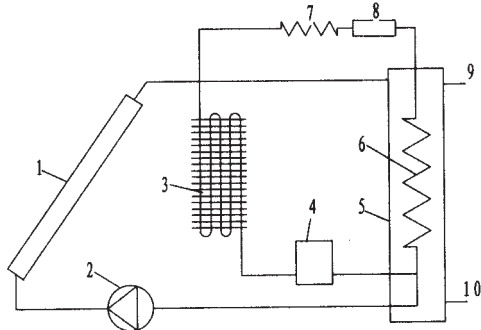


图 4 并联式太阳能热泵系统

1-平板集热器; 2-水泵; 3-蒸发器; 4-压缩机; 5-水箱; 6-冷凝盘管; 7-毛细管; 8-干燥过滤器; 9-热水出口; 10-冷水入口

该系统是由传统的太阳集热器和热泵共同组成,它们各自独立工作,互为补充。热泵系统的热源一般是周围的空气。当太阳辐射足够强时,只运行太阳能系统,否则,运行热泵系统或两个系统同时工作。

混合连接系统也叫双热源系统,实际上是串联和并联系统的组合,如图5所示。

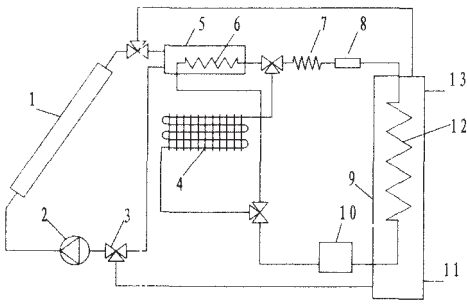


图5 混合式太阳能热泵系统

1-平板集热器;2-水泵;3-三通阀;4-空气源蒸发器;5-中间换热水箱;6-以太阳能加热的水或空气为热源的蒸发器;7-毛细管;8-干燥过滤器;9-水箱;10-压缩机;11-冷水入口;12-冷凝盘管;13-热水出口

混合式太阳能热泵系统设两个蒸发器,一个以大气为热源,另外一个以被太阳能加热的工质为热源。根据室外具体条件的不同,有3种不同的工作模式:①当太阳辐射强度足够大时,不需要开启热泵,直接利用太阳能即可满足要求;②当太阳辐射强度很小,以至水箱中的水温很低时,开启热泵,使其以空气为热源进行工作;③当外界条件介于两者之间时,使热泵以水箱中被太阳能加热的工质为热源进行工作。

3 太阳能热泵系统的试验

太阳能系统与热泵系统相结合,一方面可以有效地降低集热器的板面温度,从而提高集热效率,减少集热器向外界的热损失,另一方面可以提高热泵系统的蒸发温度,从而提高热泵系统的性能。

笔者所在的试验室采用图3所示的直接膨胀式系统,进行了太阳能热泵热水器的试验。系统工作时,制冷剂经压缩机压缩后,进入浸于水中的冷凝器盘管被冷凝为液体并放热,然后经毛细管节流减压后进入焊接在太阳能集热板上的盘管式蒸发器中,吸收太阳辐射热和周围空气中的热能并蒸发,再进入压缩机,实现一个循环。

夏天时,系统的COP可以达到3以上,经过2h左右可以使水温升达30℃以上;冬天时,系统的COP可以达到2以上,能在3~6h的时间内使水温升达30℃以上。这样,一方面通过提高系

统效率节约了大量高品位能源,另一方面提高了热水器工作的可靠性,从而能够满足人们24h连续供热水的要求。同时,该系统长期运行的总投资与其它种类的水热器相比也是比较低的,在经济性方面具有一定的优势。

4 结论

综上所述,太阳能热泵系统在性能上弥补了传统的太阳能系统和热泵系统各自的缺点,使得整个系统的COP有较大的提高,而系统性能的提高使得运行费用减少,从而降低了系统总投资。目前国内外开展的试验研究以中小型的热水系统居多,随着研究的进展和技术的成熟,太阳能热泵系统应该逐渐与大型的供热系统相结合,创造更大的效益。

参考文献:

- [1] JOHNA DUFFIE, WILLIAMA BECKMAN. Solar Engineering of Thermal Processes[M]. Boston: John Wiley & sons, inc, 1991.
- [2] K KAYGUSUZ, T AYHAN. Experimental and Theoretical Investigation of Combined Solar Heat Pump System for Residential Heating[J]. *Energy Conversion & Management*, 1999, 40: 1377-1396.
- [3] S ITO, N MIURA, K WANG. Performance of A Heat Pump Using Direct Expansion Solar Collectors[J]. *Solar Energy*, 1999, 65(3): 189-196.
- [4] 冒东奎. 太阳能热泵热水器性能的模拟研究[J]. 宁夏工学院学报, 1997, 9(1): 41-48.

不污染空气的热电站

热电站所用的燃煤在燃烧时会严重地污染空气。如果预先将燃煤转化成煤气,在气化过程中将有害物质排除,就不会造成环境污染了,因为煤气在燃烧时所排放的主要是水和二氧化碳等无害物质。

美国加利福尼亚州已经建成了一座这样的热电站。在该电站旁边设置了一套气化设备,它在1昼夜内能加工1000t煤,获得的煤气同水蒸气混合后送入蜗轮发电机的燃烧室。这座热电站的功率为120MW,它向大气层排放的有害物质浓度只有允许量的1/10。

(李兵译自《自然》2004年第1期)