太阳能热泵原理及技术分析

热泵技术是一种新型的节能制冷供热技术，长期以来主要应用于建筑物的采暖空调领域。因热泵制热在节能降耗及环保方面的良好表现，卫生热水供应系统也越来越多的采用热泵设备作为热源。其中以室外空气为热源的空气源热泵，结构简单，不需要专用机房，安装使用方便，在卫生热水供应方面具有不可替代的优势，除了比较大型的空气源热泵热水系统外，现在已有多个品牌的小型的家用空气源热泵热水器也投放市场。但空气源热泵的一个主要缺点是供热能力和供热性能系数随着室外气温的降低而降低，所以它的使用受到环境温度的限制，一般适用于最低温度-10°C以上的地区。

将热泵技术与太阳能结合供应生活热水，国内外进行了许多这方面的研究，主要有两种方式，一种是直接以空气源热泵作为太阳能系统的辅助加热设备，另一种是利用太阳能热水为低温热源或将太阳能集热器作为热泵的蒸发器的太阳能热泵系统。前者以太阳能直接加热为主以空气源热泵为辅，解决太阳能供热的连续性问题，但仍旧无法摆脱环境温度对热泵制热性能的影响；后者完全以太阳能作为热泵热源，大大提高了太阳能的利用效率，但太阳能资源不足时仍需要增加其它辅助热源，并且热泵供热能力受太阳能集热量的限制，规模一般比较小。

在大型的太阳能中央热水系统中，空气源热泵无疑是一种比较理想的辅助加热设备，为了改善空气源热泵在低温环境下制热运行的性能，扩大它的使用区域，结合国内外太阳能热泵研究中的先进经验，我们研制了一种适合于低温环境中工作的太阳能—热泵中央热水系统。该系统采用一种新型的采用低温太阳能辅助的空气源热泵机组和太阳能集热系统结合，太阳能和热泵互为辅助热源，最大限度的利用太阳能，解决阴雨天气及冬季环境温度较低太阳能资源不足时热水供应保证率，做到全年、全天候供应热水。

1太阳能—热泵中央热水系统组成

1.1太阳能—热泵中央热水系统基本组成

太阳能—热泵中央热水系统的主要组成部分为太阳能集热器和太阳能辅助加热空气源热泵机组，其他辅助设备与常规的中央热水系统相同，包括太阳能循环泵、热水加热环泵、换热器、热水箱及控制器等。

1.2太阳能辅助加热空气源热泵机组

1.2.1太阳能辅助加热空气源热泵机组工作原理

为使空气源热泵在低温环境中高效、稳定、可靠的运行，国内外众多科研单位和生产企业进行了研发和改进，归纳起来主要有三种方式。一是依靠外界辅助热源来提高热泵低温制热性能，比如通过电加热提高热泵制热出水温度、采用燃烧器辅助加热室外换热器、在压缩机周围敷设相变蓄热材料以增加低温条件下制热运行出力等等；二是通过改善制冷剂循环系统来提高热泵的低温制热性能，比如采用双级压缩的空气源热泵，设中间补气回路的空气源热泵等；三是采用变频系统，低温工况下让压缩机高速工作增加工质循环量，同时向压缩机工作腔喷液以防止其过热，从而使热泵机组能够正常运行。

太阳能辅助加热空气源热泵机组是基于上述第一种方式而产生的，如图2所示。在机组的蒸发器上增加了一辅助换热器。热泵在低温环境下制热运行时，高于环境温度的太阳能热水流经该辅助换热器，与将进入蒸发器的室外空气进行热量交换提高其温度，从而使制冷剂在相对较高的环境里蒸发吸热，提高了蒸发温度，改善了压缩机的工作状况。

2、太阳能辅助加热空气源热泵机组

1.2.2太阳能辅助加热空气源热泵机组性能特点

与普通的空气源热泵相比较，太阳能辅助加热空气源热泵机组在低温工况下运行具有如下几个明显的特点：

（1）COP显著提高
在同样的环境温度下，太阳能辅助加热使制冷剂系统的蒸发温度得以提高，机组的制热性能系数较普通空气源热泵机组有了明显的提高。

（2）防止蒸发器结霜，减少除霜时间
由于辅助热源的加热作用，提高了进入蒸发器的空气温度，使其结霜的可能性降低，这样就可以防止蒸发器表面结霜，使其保持较高的换热效率，同时，机组的化霜次数和时间也大大减少，可以节省大量的电能，并保证热泵机组连续不间断的运行。

（3）改善空调压缩机工作环境，延长机组使用寿命
在环境温度较低时，空调压缩机的压缩比急剧升高，压缩机的排气温度常常会超过压缩机允许的工作范围，从而导致压缩机频繁的启停，无法正常工作，长此以往，将会损伤压缩机的整体性能，减少空调设备的使用寿命。通过太阳能作为辅助热源提高系统蒸发温度，间接的改善了压缩机的工作环境，不但解决了压缩机在外界低温环境下不能正常工作的问题，并且可以使整个热泵机组的使用寿命有效延长。

1.2.3太阳能辅助换热器的设计

辅助换热器位于热泵蒸发器的外侧，作为热泵机组的一个部件与热泵机组同步设计生产，采用和蒸发器同样外型尺寸和材质的翅片管换热器。辅助换热器的换热面积、空气通过温升及其与热泵蒸发器的间距应根据太阳能集热器可以提供的辅助热量、太阳能水温、环境温度及热泵机组蒸发温度、排风量等参数进行设计计算。

1.3太阳能集热器

目前在太阳能热水工程中通常采用的太阳能集热器主要有平板型太阳能集热器、全玻璃真空管集热器、U型管式真空管集热器、热管式真空管集热器和直流式真空管集热器五种。对于全年使用的比较大型的太阳能中央热水系统，要求太阳能集热器应具有一定的承压能力，比较高集热效率，比较小的管道阻力，抗冻能力强，易于维护。在这几种太阳能集热器中，全玻璃真空管集热器虽然热集热效率高，市场占有率大，但因其不能承压运行，容易冻裂，不适宜用在大面积的太阳能热水系统中，绝大部分都被用作家用太阳能热水器的集热部件。其它四种均为金属吸热体的太阳能集热器，可以承压运行，适用于在大型的太阳能热水工程中应用。

平板集热器是应用比较早的一种太阳能集热装置，一直以来也是世界太阳能市场的主导产品，广泛应用于各种低温热水加热领域，但随着真空管太阳能集热器的出现，受其自身结构的局限，在集热效率上已不具备优势，因防冻问题以及集热性能受季节和环境影响较大，目前主要在南方冬季气温较高的地区应用，在北方寒冷地区冬季运行效果欠佳，不推荐在大型热水工程中应用。

U型管式真空管集热器、热管式真空管集热器和直流式真空管集热器是在全玻璃真空管集热器基础上发展起来产品，三者的共同特点都具有比较高的集热效率，以金属作为吸热体，可以承压运行，但从集热效率、防漏、防垢、耐久性、安全性、可靠性、安装维护难度等方面进行综合评价，热管式真空管集热器是最适宜在中央热水供应系统中采用的太阳能集热器类型，U型管式真空管集热器和直流式真空管集热器次之。热管式真空管集热器利用热管传热，干性连接，管内不走水，具有热容小、传热快、耐冰冻、耐热冲击、承压强、保温好、无渗漏、易维护等优点，U型管式真空管集热器和直流式集热器利用真空管内同心套管直接对工质加热，除了具有运行温度高、承压能力强和耐热冲击性能好等特点外，其集热效率高于其它形式的集热器，并且可以水平安装，简化安装支架，减少安装场地面积，避免集热器影响建筑外观，在太阳能和建筑结合方面具有较强的适应性，但其安装程序比热管式真空管集热器复杂，接口较多，运行中有漏水隐患，系统维护成本相对较高。

2太阳能—热泵中央热水系统的工作原理

太阳能与太阳能辅助加热空气源热泵结合作为中央热水系统的热源，其目的在于取长补短，使二者互为补充，互为备用，在日照充足时优先使用太阳能加热热水，利用太阳能集热器产生的低温热水作为太阳能辅助加热空气源热泵的辅助热源，从而改善热泵的运行工况，提高其制热性能。这种组合形式，使二者均在相对比较稳定高效的条件下工作，保证系统全年全天候的卫生热水供应。空气源热泵制热过程本质上是对空气中蕴藏的太阳热能的提升利用，根据热泵的工作特性，在整个热水系统的运行过程中，热泵机组作为辅助热源运行所供应的热量中，只有一小部分来自电能，所以太阳能—热泵中央热水系统大大提高了太阳能利用率，减少了对一次能源的消耗。

太阳能—热泵中央热水系统的运行主要有以下四种工况：

（1）太阳能加热生活热水
在大部分日照良好的晴天，系统按此工况工作，此时太阳能循环泵的工作由系统控制器根据太阳能集热器和热水箱的温度进行控制，源源不断的利用集热器采集的热量通过中间换热器输送到热水箱。

（2）太阳能辅助热泵机组加热生活热水
当阴天或多云天气，当太阳能集热温度低于热水箱水温不足以直接加热生活热水时，热泵机组启动，利用空气作为热源加热热水箱内生活热水。在秋冬季节，当环境温度低于热泵的经济运行温度时，热泵机组的制热效率下降并且蒸发器表面结霜，此时，热泵辅助加热循环启动，高于环境温度的低温太阳能热水进入热泵机组辅助换热器内，预热通过的空气，使热泵效率提高，并切具有防止蒸发器结霜的作用，可以节约热泵机组的耗电量。

（3）太阳能和热泵机组同时加热生活热水
在晴天日照良好时，如果热水系统的耗热量大于太阳能集热系统的有效供热量或太阳能集热器的数量较少，不能满足热水系统的用热需求，则太阳能和热泵机组同时工作向热水系统供热。

（4）热泵机组直接加热生活热水
在连续的雨雪天气，热水系统所需热量完全由空气源热泵机组提供。此时，太阳能系统处于待机状态，热泵机组单独工作对热水箱加热。

3太阳能—热泵中央热水系统设计

3.1太阳能辅助加热空气源热泵机组功率的确定

太阳能—热泵中央热水系统中，太阳能辅助加热空气源热泵机组在晴好天气作为太阳能集热系统的辅助热源设备，在太阳能资源不足时或阴雨天气作为系统的主要热源保证热水的正常供应，所以其制热功率应按照整个热水系统的设计热负荷进行确定。对于全日制中央热水系统，热泵机组功率按照热水系统设计小时热负荷确定，对于非全日制中央热水系统，热泵机组的功率应根据最大用水量、热水箱容积、加热时间等参数进行确定，具体参见文献。热泵机组的额定制热功率不小于中央热水系统的设计负荷，在冬季比较寒冷的地区，可适当加大机组的型号，使其尽量在一天中气温比较高的时段内运行，在较短的时间内满足系统的用热需求。

3.2太阳能集热器面积的确定

太阳能—热泵中央热水系统中，太阳能集热器的面积应以热水系统的设计热负荷或根据实际情况确定的太阳能供热量作为基本依据，并分析计算项目所在地单位面积的太阳能集热器平均每日有效得热量，从而确定太阳能集热器的安装面积。

热水工程中，太阳能集热器一般是固定角度安装，其单位面积日有效得热量随季节的变化和每日内太阳辐照强度的变化，并不是一个固定值。其影响因素主要有集热器的安装角度、系统运行工况、所在地气象参数和太阳辐照量等。不同的集热器类型具有不同的集热效率，其有效得热量也不同，所以在实际应用中一般根据集热器生产厂家提供的集热器集热效率等性能参数和太阳辐照资料进行分析计算，取全年平均值。

3.3太阳能集热系统形式

对于太阳能—热泵中央热水系统，太阳能集热系统既作为热水加热的主要热源又作为热泵机组的辅助热源，并且应能承受较低的环境温度，所以应采用闭式系统，系统循环工质采用防冻液溶液。

4太阳能—热泵中央热水系统的实用意义

4.1运行可靠性分析

作为太阳能—热泵中央热水系统的主要组成部分，太阳能和空气源热泵都是技术成熟的节能环保产品。太阳能在生活热水系统中的规模化利用已有20余年的历史，空气源热泵的大量应用也有数十年的历史[10]，太阳能热泵中央热水系统将太阳能与空气源热泵技术有机结合，在不影响二者原有运行功能的条件下，使其运行效率显著提高，从而能够保证系统稳定可靠运行，节约热水系统常规能源消耗。

4.2节能效益分析

根据我国北方大部分地区的太阳辐照资料，按照卫生热水系统平均耗热量和太阳能集热器日平均得热量确定太阳能热水系统的集热器面积，太阳能—热泵中央热水系统中，太阳能直接加热可满足热水系统全年60—80%的热量需求，其余20—40%热量由太阳能辅助加热空气源热泵机组供应，热泵平均COP可达3.0，即其所供应热量有65%以上

来自集热器不能直接利用的太阳能和空气热能。在整个系统运行中，集热器吸收的太阳能的利用率接近100%，辅助加热的电力消耗只占系统总能耗的7—14%，较常规能源的热水系统可至少节能85%以上。

通过上述分析可见，太阳能—热泵中央热水系统是一种性能可靠，环保节能的热水系统形式，该系统只使用太阳能及少量的电能，对环境没有任何的污染。在白天最低温度-15℃以上、太阳辐照良好的我国大部分地区都可推广应用。统和热水供应，冬天采暖运行时节约常规能源60%以上，在我国大部分冬冷夏热地区，本系统也可与建筑物采暖空调系统结合，发挥最大的节能作用。

5、项目应用

2004年，太阳能—热泵中央热水系统作为中国科学院奥运科技项目课题“奥运村及奥运场馆太阳能热泵中央热水系统示范研究”项目的主要研究内容，在北京月坛体育中心综合训练馆一示范工程，主要功能为集中生活热水供应，富裕热量为泳池辅助加热。该工程屋顶水平安装采800m2直流式真空管太阳能集热器，太阳能辅助加热空气源热泵机组输出功率300kW。2004年12月调试完毕进入试运行阶段，根据初步测试资料，系统在冬季晴天太阳能集热系统可满足系统 90%左右的设计供热量，阴雨天气热泵机组平稳运行，利用10℃左右的低温太阳能热水热泵辅助热源，制热性能有明显提高。根据北京地区的气象条件和太阳辐照资料，该系统年综合节能率可实现预期的90%以上的目标。

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/17351.html