

不同热泵空调技术的对比

张楠, 翁丽芬, 陈俊萍

(中国新型建筑材料工业杭州设计研究院, 浙江 杭州 310003)

摘要: 介绍了热泵技术的原理及分类, 分别对空气源热泵、水源热泵、土壤源热泵、太阳能热泵空调系统的运行原理、特点、存在的问题及改进方法进行了分析, 总结对比了这四种空调方式的优缺点, 为不同地区选用热泵空调机组提供了参考依据。结论指出, 通过合理热泵空调形式的应用, 可以大大节约空调能耗, 为我国节能减排工作做出重大贡献。

关键词: 空气源热泵; 水源热泵; 土壤源热泵; 太阳能热泵

中图分类号: TU83

文献标识码: B

文章编号: 1006-8449(2010)05-0012-04

0 引言

在中国, 建筑能耗约占社会总能耗的 30%左右。其中, 暖通空调系统能耗大约占建筑能耗的 50%。根据全国节能减排工作的要求, 减少 HVAC 系统能耗显得尤为重要。

近年来, 人们对空调室内环境的要求也越来越高。而传统的机械压缩制冷空调系统消耗了大量的电能, 这些电能很大程度上依赖于矿物燃料。因此, 这种类型的空调系统既不环保又不经济。而热泵技术是利用少量的高位能驱动, 迫使热量从低温热源流向高温热源的一种装置。虽然这个过程中消耗了高位能, 但是它获得的热能却远高于系统消耗的能量。热泵空调机组正是在此基础上孕育而生。它可以实现冬季供暖、夏季供冷, 是现有空调系统的潜在替代品。

1 热泵技术的原理

热泵实际上是一种热量提升装置, 通过逆卡诺循环来制取热量, 使热量从低温热源流向高温热源, 如图 1 所示。自然界中, 水泵可以通过机械能把水从低处打向高处。热泵的道理也是类似的, 图 1 所示为水泵和热泵的类比图。热泵在工作时, 它本身消耗一部分能量, 把环境介质中贮存的能量加以挖掘, 通过传热介质循环系统提高温度进行利用, 而整个热泵装置所消耗的功仅为输出功中的一小部分。因此, 采用热泵技术可以

节约大量高品质能源。

2 热泵的分类

按照驱动形式的不同, 主要分为机械压缩式热泵和热力压缩式热泵。

机械压缩式热泵包括蒸汽压缩式和气体压缩式两种热泵, 主要消耗的是电动机、发动机所做的功, 将工作介质从低温状态压缩至高温高压状态。热力压缩式热泵主要包括蒸汽喷射式热泵、吸收式热泵和吸附式热泵等, 利用高温蒸汽、燃料燃烧或者预热、太阳能等热能直接驱动热泵工作, 几乎没有机械运动部件。

按照热泵所利用的能源形式的不同, 主要分为: 空气源热泵(主要包括空气—空气式热泵、空气—水式热泵)、水源热泵(主要包括水环热泵、地表水源热泵、地下水热泵)、土壤源热泵和太阳能热泵等。

3 各种热泵空调的原理、特点及存在的问题

热泵技术以其节能环保的优势在空调领域得到了广泛的应用, 且可以实现一机两用。但是各种热泵空调

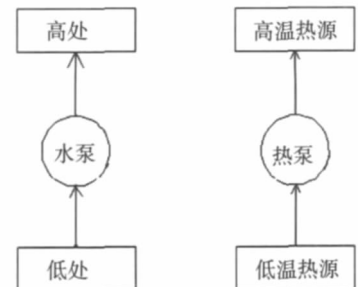


图 1 水泵和热泵类比

在具体应用时又受到了当地使用条件的限制,那么如何才能充分发挥这一空调系统的优势呢,这就要求我们必须根据建筑物所处的地理位置和功能要求等进行综合考虑,合理选择。

3.1 空气源热泵空调

空气源热泵空调主要由压缩机、冷凝器、膨胀阀、蒸发器和四通换向阀组成。这五大件所遵循的是逆卡

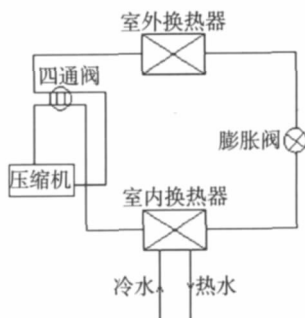


图2 空气-水源热泵空调工作流程

诺循环。如空气-水源热泵空调机组的工作流程,如图2所示。

空气源热泵机组自20世纪90年代初开始在我国推广使用,它特别适合于我国夏热冬冷地区。如上海、浙江、江西、湖南、湖北全境,江苏、安徽、四川大部,陕西、河南南部,贵州东部,福建、广东、广西北部,甘肃南部的部分地区^[1]。在这些地区,夏季炎热冬季寒冷,很适宜采用空气源热泵机组作为空调冷热源,向建筑室内供冷供热。

空气源热泵空调的主要特点如下:

(1)空气源热泵空调能充分利用自然能源,能量利用率高,减少温室效应、环保,安装方便;

(2)对于需要夏季供冷、冬季供热的场合,运用热泵进行综合供冷供热,对建筑进行空气调节,可以有效节约初投资费用;

(3)空气源热泵空调机组与传统制冷空调机组相比,没有冷却塔、冷却水泵、冷却水管路和锅炉,节省设备的投资和运行费用。

目前,虽然空气源热泵空调已经在我国很多地区广泛应用,但是在使用中,还存在着一些问题,有待于进一步研究和改善:

(1)空气源热泵空调的使用受室外气象条件的限制。在供热模式下,随着室外温度的降低,其制热量逐渐减少,而室内的热负荷却逐渐增加,有可能造成建筑室内供热量不足的问题。夏季供冷时,随着室外温度的升高,建筑冷负荷加大,同时冷凝温度升高,机组效率下降。因此在选择空气源热泵时,必须充分考虑空调建筑的冷热负荷和地域特点,进行综合分析选择。

(2)通过焓分析计算可知,一般的热泵装置中,压缩机做功只有30.18%被利用,其中压缩机焓损失占20.5%,冷凝器占29.8%,蒸发器占10.32%,膨胀阀占9.2%^[2]。由此可见空气源热泵空调的节能还有很大空

间,主要从提高压缩机效率和强化换热器换热两个方面进行。

(3)空气源热泵空调的结霜问题。当室外温度在-12.8~-5.8℃时,蒸发器可能需要频繁除霜,这一方面增加了机组的运行费用,另一方面也对压缩机产生了极大影响,严重时有可能发生冰堵,大大降低了制热能力。

因此在空气源热泵的设计选型时,应根据冷热负荷中较大的那个进行选择。一般企业提供的样本中所示的机组变工况性能中的制热量,为标准工况下的名义制热量 Q_1 ,并未考虑融霜次数对供热能力的影响。实际设计选用时,应对标准制热量进行室外温度和融霜频率的修正,如公式(1)^[3]:

$$Q = Q_1 K_1 K_2 \quad (1)$$

式中 Q —机组的实际制热量 kW;

Q_1 —机组的名义制热量 kW;

K_1 —使用地区的室外空调计算干球温度的修正系数,一般厂家的样本上提供;

K_2 —机组融霜修正系数,一般1h一次取0.9,两次取0.8。

针对空气源热泵空调在寒冷地区容易结霜的现象,目前国内外专家和学者提出了不同的解决方案^[4,5],包括单机低温热泵系统、带油冷却的单级压缩热泵系统、带中间冷却器的二级压缩热泵系统、带经济器的二级压缩热泵系统、双级耦合热泵系统以及采用变频技术、辅助加热系统和复叠式蒸汽压缩系统等热泵空调系统。

3.2 水源热泵空调

水源热泵是一种利用地球表面浅层水源(如湖泊、河流、海洋、地下水等)或者人工再生水源(如工业废水、城市生活污水、热电厂冷却水等)的热泵技术。水源热泵空调包括一个使用侧换热设备、压缩机、热源侧换热设备及其它辅助设备。

水源热泵空调根据对水源的利用方式的不同,可以分为闭式系统和开式系统两种。闭式系统是指在水侧为一组闭式循环的换热套管,该组套管一般水平或垂直埋于地下或地表水域中,通过与浅层水域中的水换热来实现能量转移。开式系统是指从地下抽水或地表抽水后经过换热器直接排放的系统。按照冷热源类型分为:水环式水源热泵空调、地下水式水源热泵空调和地下环路式水源热泵空调。影响水源热泵空调机组运行的主要因素有:水源系统的水量、水温、水质和供水稳定性^[6]。在系统运行时,要求有充足的水量、水质适

宜,水温适宜且系统稳定。

水源热泵空调机组与风冷热泵空调机组相比,具有以下优点:

(1)空气源热泵空调的冷热源为室外空气,季节变化性大。而水源热泵空调的冷热源为水体,一般地下浅层水源的夏季水温为 $18\sim 35^{\circ}\text{C}$,冬季水温一般为 $12\sim 22^{\circ}\text{C}$,较为稳定。因此机组运行更可靠、稳定,保证了系统高效性和经济性。

(2)夏季运行,水体温度较空气温度低,所以制冷的冷凝温度降低,冷却效果高于风冷式;冬季时,水体温度高于室外环境温度,热泵的蒸发温度提高,能效比也提高了。即水源热泵空调的能效比高于空气源热泵空调。由于水源热泵的热源温度全年较为稳定,一般为 $10\sim 25^{\circ}\text{C}$,其制冷制热系数可以高达 $3.5\sim 4.4$,与传统的空气源热泵相比,要高出40%左右,其运行费用为普通中央空调的50%~60%^[7]。

(3)与空气源热泵空调相比,省去了除霜设备,设备初投资费用和能耗减少。

水源热泵具有环保、节能、一机多用等特点,虽然从技术角度来看相当成熟,但考虑到将水源热泵制冷供暖作为一个整体的空调系统来推广应用,还存在一些问题:

(1)可利用的水资源限制。目前闭式水环路热泵系统一般成本较高,而开式系统的水源问题限制了其发展。理论上,水源热泵空调系统可以利用的水资源很多,但是在实际中,不同地区水资源的利用成本差异很大。是否存在合适的水源成为这一技术应用的前提条件。在开式系统中必须确保当地的水文资料如水源的水量、水温、水质等条件全部符合和满足热泵空调机组的使用要求。

对于采用地下水的水源热泵空调系统,一定要先做详细的水文地质调查,获取地下温度、地下水深度、水质和出水量等数据。地下水热泵系统的经济性与地下水层的深度关系紧密。如果水位较低,不仅成井的费用增加,运行中水泵的能耗也将大大增加,降低了系统的能效利用。此外,虽然理论上抽取的地下水将回灌到地下水层,但目前国内地下水回灌技术还不够成熟,在很多地质条件下回灌的速度大大低于抽水的速度,从地下抽出来的水经过换热器后很难再被全部回灌到含水层内,造成地下水资源的流失。因此必须采取合理的回灌措施,确保作为热源和冷源的地下水能全部回灌到同一含水层,不能对地下水资源造成浪费和污染。

(2)水源的使用政策。随着人们对能源意识的提高,我国制订了《中华人民共和国水法》,各个城市也制

订了相关的用水条例和管理办法。因此水源热泵在使用过程中受到当地用水指标的限制。在不同地区,有可能其节能效益小于其用水费用,经济效益变差。因此应综合考虑当地能源政策和空调方式。

(3)投资的经济性。在设计水源热泵空调系统前,必须对当地可利用的水源进行探测和了解,保证有充足的水源,并对实地水源状况进行调查。而这些前期准备工作无疑增加了机组的初投资费用。综合考虑当地水源情况、用水费用,并与传统空调系统进行技术经济效益比较,以确定采用水源热泵空调机组是否合理。

(4)系统的整体设计。在上述条件均满足的前提下,确定可以采用水源热泵空调系统,此时还必须对空调水系统进行合理的设计。包括选用合理的水泵,水管路的阻力平衡等问题,才能充分提高水源热泵空调的节能性。

3.3 土壤源热泵空调

土壤源热泵是利用地下常温土壤温度相对稳定的特性,通过地埋管将土壤中的热量取出来供给建筑室内。土壤源热泵空调系统主要由地埋管换热器、水源热泵空调机组和室内末端三部分组成。

土壤中热量储藏丰富,按照2004年我国建筑总能耗1.7亿t标煤加5900亿kWh电折算的一次能比较^[8],不考虑地下水储热,全国百万分之一陆地面积百米以内土壤中的低品位温差能即可满足全国的建筑能耗^[9],因此可见土壤源热泵应用前景广泛。

根据土壤源热泵空调系统中地埋管形式的不同,可分为垂直埋管、水平埋管和蛇形埋管三类。垂直埋管换热器通常采用的是U型方式,按其埋管深度可分为浅埋型($H\leq 30\text{m}$),中埋型($H=31\sim 80\text{m}$)和深埋型($H>80\text{m}$)三种。

土壤源热泵系统的特点是:

(1)地源热泵的冷热源为地表浅层地热,地面5m以下土壤温度全年基本稳定,温度波动较空气波动小,且换热器埋在地下,受室外空气的影响较小,系统运行较空气源热泵机组稳定性好,可靠性高;

(2)与水源热泵相比,不抽取地下水,不会对水资源造成浪费。因为这种技术不依赖于地下水,因此适用地域广,维护和运行费用低,使用寿命较长;

(3)利用地热能,环保,无污染。

目前,对土壤源热泵的应用中仍有一些缺点:

(1)由于地埋管管壁传热温差的存在,机组冬季地源侧水温低于地下水式系统 $5\sim 10^{\circ}\text{C}$,机组夏季地源侧水温高于地下水式系统 $10\sim 15^{\circ}\text{C}$ ^[10],因此换热效率

较水源热泵系统低；

(2)连续运行时,热泵空调机组的冷凝温度或蒸发温度受土壤温度变化的影响会发生波动,造成机组运行可靠性的下降；

(3)土壤的导热系数小,因此在相同的冷热源需求下,需要更大的换热管面积,布置空间相对增大,初投资费用也相应增加；

(4)对土壤换热器的材质要求比较高,需要较大的场所进行施工,引起土壤环境的波动,对土壤微生物和建筑基础的要求较高。

3.4 太阳能热泵空调

太阳能热泵一般是指利用太阳能作为蒸发器热源的热泵系统,其将太阳能技术和热泵技术结合起来,可以提高太阳能集热器效率和热泵系统性能。太阳能热泵空调冬季运行时,蒸发器中的工质获得太阳能后变为气态,再经过压缩机后变为高温高压的气体,在冷凝器中将热量放给用户侧的冷水,提供热量。按照太阳能集热器和热泵空调机组中蒸发器的组合形式,太阳能热泵空调可分为直膨式和非直膨式。

太阳能热泵空调的特点：

(1)与水源热泵空调机组相比,利用太阳能作为蒸发器热源,不受当地水源条件和地质的限制,且太阳能是一种取之不尽的洁净能源；

(2)在太阳辐射条件较好时,太阳能热泵空调可以获得比空气源热泵更高的蒸发温度。其供热性能系数可达4以上^[11]；

(3)太阳能热泵空调与其它热泵空调形式一样,都可以冬夏两用。且夏季可以利用波谷电力进行蓄冷,供白天使用,不仅运行费用可以降低,同时又符合国家削峰填谷的用电政策。

目前这种技术还未能广泛应用,主要存在以下几个原因：

(1)投资经济性。我国的能源结构决定了人们对燃料使用的依赖性,同时太阳能热泵空调的初投资费用过高也是经济性的一个制约因素。

(2)性能的可靠性。太阳能热泵是两种技术的集合,因此集热器、换热器及自动控制等方面的合理匹配,对投资最佳效益有很大的影响,有待于进一步提高。

(3)由于观念问题,人们对太阳能热泵空调机组运行的稳定性和可靠性还持一定的怀疑,需要加大这方面的宣传力度。

4 结语

(1)通过以上对比分析,见表1,可以得到,各种热泵空调各有优缺点,应该选取哪种类型的热泵空调系统应根据当地的气候、水文地质条件、地理条件及建筑的负荷特点进行综合评定分析,合理确定。

(2)空气源热泵空调受环境的影响明显大于水源和土壤源热泵空调,运行的可靠性低于水源热泵和土壤源热泵空调系统。

(3)空气源热泵机组,换热温差较水源热泵和土壤源热泵机组小,因此换热效率低,但布置安装方便。而土壤源热泵由于地埋管管壁温差的存在,换热效率低于水源热泵系统。即水源热泵机组的效率最高。

(4)太阳能热泵空调使用清洁的可再生能源,与水源热泵相比,不会对水资源造成破坏。且比空气源热泵空调的能效系数高。

(5)这三种空调方式都具有环境效益显著、高效节能、一机多用、使用可再生资源的优点。

表1 几种热泵空调的对比

项目	冷热源	系统稳定性	效率	占用空间	缺点
空气源热泵空调	空气	较差	低	小	冬季易结霜
水源热泵空调	水	较好	较高	较大	水资源可利用性受限
土壤源热泵空调	土壤	较好	较高	较大	换热管面积大
太阳能热泵空调	太阳能	较差	较高	小	初投资费用高

参考文献：

[1] 黄翔. 空调工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 322~324.
 [2] 钱四平, 等. 空气源热泵空调系统节能分析[J]. 能源研究与信息, 2004, 20(1): 23~28.
 [3] 陆耀庆. 实用空调供热设计手册[M]. 第二版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2347~2414.
 [4] 俞丽华, 马国远, 徐荣保. 低温空气源热泵的现状与发展[J]. 建筑节能, 2007, (3): 54~57.
 [5] 周文和, 曹笃彬. 热泵技术在兰州地区的推广应用[J]. 建筑节能, 2008, (7): 49~51.
 [6] 张玉宝. 温室水源热泵空调系统研究现状与展望[J]. 农机化研究, 2009, (1): 225~227.
 [7] 刘树清. 某医院水源热泵工程运用实例[J]. 沿海企业与科技, 2009, (12): 143~145.
 [8] 龙惟定. 建筑能耗比例与建筑节能目标[J]. 中国能源, 2005, 27(10): 23.
 [9] 张佩芳, 袁寿其. 地源热泵的特点及其在长江流域应用前景[J]. 流体机械, 2003, 31(2): 50~53.
 [10] 于伟强, 康景文, 李国祥, 等. 土壤源热泵技术发展与应用综述[J]. 四川建筑科学研究, 2009, 35(6): 281~284.
 [11] 赵宏伟, 胡明辅, 李勇. 太阳能热泵技术及其研究进展[J]. 能源与环境, 2008, 2: 83~84.

收稿日期 2010-04-09

修回日期 2010-05-21

(下转第4页)

水和低温冷水的比例,制取出满足末端要求的水,具有广泛的应用前途。

以西安某工程为例进行了相关的计算,得到毛细管辐射末端承担的冷负荷约占总冷负荷的65%,承担室内大部分冷负荷,可大大节约能源。同时给出与蒸发冷却技术相结合的毛细管辐射空调系统的计算方法,为中等湿度和高湿度地区采用蒸发冷却技术提供了基础,可得到进一步推广。

参考文献:

- [1] 刘九菲, 吴兆林, 张雄波, 郭燕强. 一种毛细管辐射结合独立新风一体机的设计计算与研究 [J]. *China Construction Heating & Refrigeration* 2009, 10 :54~56.
- [2] 宣永梅, 黄翔, 闫振华, 张新利. 西北地区使用干空气能的蒸发冷却辐射供冷系统应用分析 [J]. *FLUID MACHINERY* 2009, 37(2):

- 82~85, 68.
- [3] 黄翔. 国内外蒸发冷却空调技术研究进展 (1)[J]. *暖通空调* 2007, 37(2) 242, 30.
- [4] 黄翔. 空调工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [5] 黄翔, 闫振华, 宣永梅. 蒸发冷却与毛细管辐射供冷复合空调系统实验研究[J]. *暖通空调* 2009, 39(9) 34~41.
- [6] 闫振华, 黄翔, 宣永梅, 徐恩涛. 蒸发冷却与毛细管辐射供冷复合式空调[J]. *建筑热能通风空调* 2008, 27(4) 23~25, 72.
- [7] H1E1 FEUSTEL, C1STETIUL HYDRONIC. Radiation cooling-preliminary assessment[J]. *Energy and Buildings* ,1995, 22 :193~205.
- [8] C1STETIU. Energy and peak power savings potential of radiant cooling systems in US commercial buildings [J]. *Energy and Buildings* , 1999, 30 :127~138.
- [9] 闫振华, 黄翔, 宣永梅. 基于蒸发冷却的辐射供冷/热实验台设计探讨[J]. *暖通空调* 2009, 39(9) 51~54.

收稿日期 2010-05-18

修回日期 2010-06-21

Design and Calculation of Capillary Radiation Air-conditioning System with Evaporative Cooling Assisting to Mechanical Refrigeration

ZHENG Xiao-li, HUANG Xiang, YIN Qing-hai

(School of Environmental & Chemical Engineering Xi'an University of Polytechnic Xi'an 710048 China)

Abstract: In view of humidity and high humidity in the climatic region, a new type of energy saving air conditioning system—the combination of capillary radiation air-conditioning system based on evaporative cooling and mechanical refrigeration was proposed. In the system, the unit of evaporative cooling and air heat pump produce cooling water with high temperature, which is supplied to system of capillary end to bear the indoor sensible heat load in summer, and produce hot water in the winter. At the same time, the units of evaporative cooling system produce fresh air for the room, take latent heat load and part of the sensible heat load of the room. This paper analyzed the characteristics of the system, and the process of air treatment was analyzed and calculated based on an project in Xi'an.

Key words: capillary radiation; evaporative cooling; independent fresh air; energy saving

作者简介: 郑小丽(1986-),女,河南郑州人,硕士研究生,主要研究方向:供热、供燃气、通风及空调工程。
黄翔(1962-),男,教授,副校长。

(上接第15页)

Comparison of Different Heat Pump Technology

ZHANG Nan, WENG Li-fen, CHEN Jun-ping

(CNBM Hangzhou Design&Research Institute Hangzhou 310013 China)

Abstract: The principle and classification of heat pump technology were introduced. And from the operation principle, characteristics, existing problems and improvement methods, the air conditioning system of air source heat pump, water source heat pump, ground source heat pump and solar heat pump were compared. Then the merits and drawbacks of the four kinds of air conditioning system were summarized, which could be referenced for choosing heat pump unit in different areas. The result showed that the reasonable application of different heat pump forms can reduce energy cost greatly. It can make a significant contribution for our energy saving and consumption reduction.

Key words: air-source heat pump; water-source heat pump; ground-source heat pump; solar heat pump

作者简介: 张楠(1978-),男,湖北荆州人,本科,工程师。