

热泵与节能

李洪斌 杨先

能源是重要的战略资源之一,在社会可持续发展中起着举足轻重的作用。目前的世界能源消费以煤炭、石油、天然气等常规能源(不可再生能源)为主,然而现有探明储量显示,石油还能再开采 50 年左右、天然气 60 年、煤炭多一些约 170 年。去年的国际原油价格一度突破每桶(一桶等于 159 升) 70 美元,创下历史新高。我国沿海的一些大城市也首次出现汽车排队限量加油的现象。专家指出,能源供应在今后较长一段时间内将处于紧张状态。世界各国纷纷在能源研究领域投入大量的人力、物力。目前较为普遍的认识是,除大力开发新能源和可再生能源外,节约现有能源、延缓常规能源枯竭的最终期限也非常重要。因此有人把“节能”称为新开发的“第五大能源”,与煤炭、石油、天然气、水能四大能源相提并论。

20 世纪 50 年代中期第一次中东战争爆发,阿拉伯产油国家对石油实行了禁运政策,导致石油价格上涨,酿成世界范围内的第一次能源危机。热泵(heat pumps)是继第一次能源危机之后发展起来的一项节能技术,利用该技术系统消耗 1 个单位的电能可以获得 3~4 个单位甚至更多的热量,这并不违

背能量转化和守恒定律,具有显著的节能效果,是缓解目前能源供应紧张的一种有效手段。

热泵技术其实并不是新技术,其发展已历经一个多世纪。1824 年法国青年工程师卡诺首先提出热力学循环理论,1852 年开尔文又具体提出了热泵的设计思想,但是由于当时条件所限并未立即投入实际研发。直到 1917 年德国卡赛伊索达制造厂首次把热泵应用于工业生产,这一技术才引起较大轰动。但是当时热泵的初期投资远远高于其他采暖设备,加上那个时代燃料能源价格低廉,而驱动热泵工作的电能却十分昂贵,因此在经济上并不合算。另外,由于当时压缩机、换热器等核心部件的制造工艺还不成熟,导致该技术并未得到发展和推广。进入 20 世纪 50 年代,特别是 70 年代以来,随着社会生产力的进一步发展,常规能源供应日趋紧张。能源危机给欧美、日本等发达地区和国家的经济造成极大损失,才使热泵技术再次受到关注。

热泵的工作原理

单从名字上看,热泵和水泵有相似之处,只不过水泵是将水从低处送到高处,而热泵则是将热量从低温热源送到高温热源的一种装置。

热力学第二定律告诉我们,热量不可能自发地

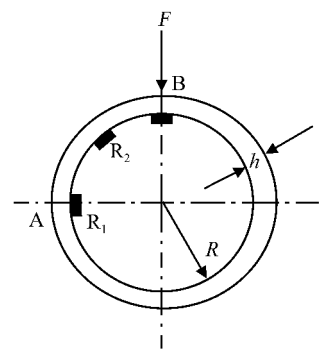


图 2 环式力传感器结构

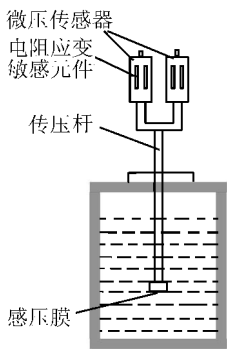


图 3 液体重量传感器

杆上传给微压传感器,引起电阻应变敏感元件的反应,从而测得容器内液体的重量。

加速度的测量 电阻应变式加速度传感器主要用于物体加速度的测量,其结构如图 4。等强度梁的自由端安装质量块,另一端固定在壳体上,电阻应变元件粘贴在等强度梁上,壳体内充满硅油,用以调

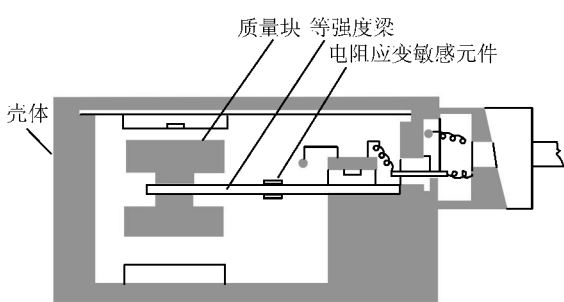


图 4 电阻应变式加速度传感器

节振动系统阻尼系数。测量时,将传感器壳体与被测对象连接,当被测对象以加速度 a 运动时,质量块受到一个与加速度方向相反的惯性力作用,使悬臂梁变形,该变形被粘贴在悬臂梁上的应变片感受到并随之产生应变,从而使应变片的电阻发生变化,由此得出加速度的大小。

(江苏省徐州工程兵指挥学院基础部 221004)

由低温物体传递给高温物体,因此必须借助一定的设备(如热泵),在外界对其做功的情况下把热量从低温处传递到高温处。当然热量的这种传递转移必须依靠一个载体,这个载体称为工质(制冷剂),大家所熟悉的制冷剂有氨(ammonia)、氟里昂(freone)。由于氨具有毒性大、对有机配件腐蚀明显,且容易燃烧和引发事故等缺点,已基本淘汰。而氟里昂则严重破坏大气层中的臭氧,研究资料显示,一个氟里昂分子进入大气后将破坏10万个臭氧分子(O₃),南极上空出现的臭氧空洞就是大量使用氟里昂的结果。《蒙特利尔协议》和《京都协议》都明确规定2000年以后禁止生产、使用氟里昂,所以近年来用得更多的是对环境污染极其微小的R134a(1,1,1,2-四氟代乙烷)。

热泵中的工质通过压缩机驱动,在闭合的管道回路中不断循环(见图1),简单地说就是制冷剂通过压缩机的驱动在蒸发器(与低温热源接触)膨胀蒸发吸收热量,变成高温低压气体,经压缩机加压后变成高温高压气体,然后进入冷凝器(与高温热源接触)放出相变潜热,成为低温高压液体,此后又经节流器绝热节流成为低温低压液体再回到低温热源处进入下一次工作循环。经过制冷剂的循环,高温热源处不断得到热量从而达到制热的目的。在整个过程中,工质只是把从低温热源处吸收到的热量连同压缩机对其所做的功传递给高温热源,所以并未违背能量转化和守恒定律。

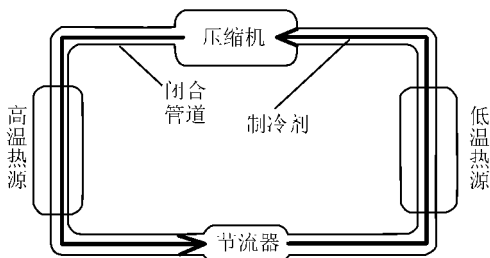


图1 热泵循环回路示意图

实际上也可以说,热泵是一个反向使用的制冷机。冰箱是把食品中的部分热量转移到外界环境中而达到制冷目的,热泵则是通过制冷机把外界环境中的热量传送到指定的地方。从图2可以看出,冰箱和热泵都是利用制冷机来转移热量,二者在本质上没有区别。只是冰箱利用制冷机抽出热量,热泵则利用制冷机得到热量。

设 Q 为系统最终传递给热水箱的热量, A 为外界对制冷机所做的功,则 Q/A 就是评价热泵性能

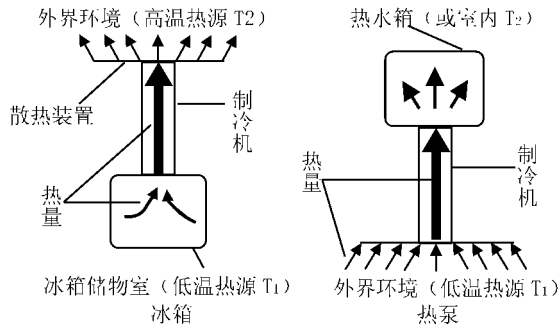


图2 冰箱与热泵原理示意图

的一个重要参数——能效比,用COP表示,

$$COP = Q/A \quad (1)$$

由上式可知COP值越大,热泵的性能越好。换句话说,要让相同质量的水吸收同样多的热量,COP值大的热泵装置消耗的电能更少。

我们知道,水泵将相同质量的水抽到不同的高度,根据能量守恒,高差越大,消耗的电能越多。同理,热泵工作时,在低温热源温度 T_1 相同的情况下,高温热源温度 T_2 越高,要得到相同热量需要消耗的电能越多。所以为了保持冬季时的室内温度,天气越冷,空调消耗的电能越多(空调在此时可看成热泵,室外空气是低温热源、室内空气是高温热源)。低温热源与高温热源的温差小时,消耗的电能也少。

在理想的逆卡诺循环中,(1)式还可以写成

$$COP = Q/A = T_2 / (T_2 - T_1) \quad (2)$$

从上式可知,热泵的COP值与两个热源的温差 $T_2 - T_1$ 成反比,与高温热源温度 T_2 成正比。

在实际使用时,刚开始 $T_2 = T_1$ 、 $T_2 - T_1 = 0$,此时COP值可以无穷大;随着时间的推移, T_2 变大, $T_2 - T_1$ 也变大,COP将变小。因此COP是动态变化的,通常热泵铭牌上给出的COP值是标准工况(简单地说就是 T_2 、 T_1 的值固定不变)下的,因此是一个固定值,这一点值得注意。

热泵的节能效果

了解了热泵的工作原理,我们再来看看其节能效果如何。以家用电热水器为例,一台家用电加热型热水器,一般每天需要用电2度。如果改用热泵加热,根据目前国内外研制的热泵的性能系数(COP值通常在3~6之间),若COP=4,则每天只需耗电0.5度,一年(以360天计)下来就可节电540度。节能效果非常明显。

那么,家用热泵型热水器所需的初期投资是多少?会不会比电加热型热水器要高得多?其使用寿命

命和安全性又如何?

根据目前国内的研究资料,热泵型热水器的初期投资略高于电加热型热水器,但是热泵型热水器可以明显节约运行成本,在上例中,若电价以每度0.4元计算,则一个这样的家庭一年可以节约电费200多元;并且整个系统运行时安全性能很高,不会有漏电、触电或煤气中毒等危险;使用寿命也长于后者。因此,热泵型热水器要优于现有的电加热或燃料加热型直热(燃)式热水器。

据统计,我国有数百万户家庭使用电加热型热水器,绝大部分的宾馆、公共浴室等需要集中供应热水的场所也是采用电或燃油(燃煤或燃气)加热。若这些场所都改用热泵型热水器,则每年将节约大量电能。由于电能大部分通过煤炭、石油等常规能源转换而来,有效节约电能就可以减少煤炭、石油消耗,同时也就降低了温室气体(如 CO_2)和有毒有害气体(如 SO_2)的排放。

热泵技术的应用领域

除用于对水加热外,生产、生活中广泛使用的空调就是可以双向使用的热泵。在夏季,制冷剂通过压缩机循环,吸收室内空气的热量后排放到室外;而在冬天,空调通过电磁换向阀改变制冷剂循环流动的方向,制冷剂就可吸收室外空气的热量,然后释放到室内,加热室内空气,达到保持室内温度的目的。

传统的木材干燥工艺以电或煤为燃料加热,干燥过程中能耗高、热量利用率低,整个干燥工序的能耗约占企业加工总能耗的40%~70%。采用热泵设备加热空气,可节约大量能源,具有较高的经济效益。1994年,北京林业大学在昆明建筑木材厂建立了一套太阳能-热泵联合系统对木材进行干燥。实际运行表明,与以前的干燥方式相比,该系统不仅能提高产品质量,每月还可节约1万元的电费开支。

采用传统工艺,每加工干燥1吨农副产品至少需要1吨煤。其他一些产品,如梅子、烟叶等,每加工1吨则需要耗煤2.5吨以上,能耗十分惊人。我国是农业大国,每年在农副产品干燥加工过程中消耗的煤炭高达数百万吨。目前,已有将热泵技术与太阳能利用相结合,进行农副产品干燥的实例。

值得一提的是,最近提出的将制冷与供热合为一体的热泵系统。既然热泵系统要从一个地方吸热,再到另外一个地方放热,那么就可以把吸热的地方做成一个冷库,而把放热的地方做成一个热水箱,

用来供应热水,从而一举两得。目前这一方面的工作已取得了相当的进展。

此外,热泵技术还逐步被应用到建筑物供热、制冷,食品加工、化工精馏和制药等工农业生产中,取得了良好的经济效益和社会效益。

热泵分类及前景展望

按照制冷机(压缩机)所吸收的热量的外界环境来看,热泵可分为空气源热泵、水源热泵、土壤源热泵和太阳能热泵等,按照热泵制冷机(压缩机)工作方式又可分压缩式、喷射式、吸收式等。

地球上的空气、水、土壤中含有大量的热量,只是温度稍低,约为 $10\sim 20\text{ }^\circ\text{C}$ 。这些热量只需经热泵装置提升到 $40\sim 50\text{ }^\circ\text{C}$,就可以满足日常生活需要,而不必消耗大量的电或煤等高品质能源。

需要单独介绍的是太阳能热泵。商业化最为成功的太阳能产品——太阳能热水器,为大众所熟悉,它通过集热板直接吸收太阳辐射的能量,无需消耗额外的电能。通过热泵的工质间接吸收太阳辐射并消耗电能是不是一种浪费呢?其实不然,我国的太阳能资源虽然比较丰富,但是能够全年使用太阳能热水器的只有云南等少数省份。大部分地区都只能使用半年或几个月。而太阳能热泵经合理设计后,在太阳辐射强的夏季吸收太阳能,在太阳辐射弱或无太阳照射时吸收空气中的热量。这样一来,全年都能使用。

目前欧美等发达地区已研制出技术成熟、适用于不同场合的产品,并投放市场。我国在热泵方面的研究虽然起步较晚,早期研究也几乎全是从欧美照搬而来,但是经过科研工作者的不懈努力,投放市场的空气源、水源热泵已基本达到发达国家的水平。

热泵技术是一项最新推出的老技术。说它老,是因为这种构思早在100多年前就已出现;说它新,是因为近年来才逐渐跳出实验室,走进日常生活。和传统的供热、制冷、干燥等设备相比,热泵具有安全、节能、环保等优势,符合可持续发展的要求,因而具有广阔的应用前景。目前需要广泛宣传,让大众认识和接受热泵。相信在不久的将来,家庭和工厂企业中的热水器、暖气设备,都将采用节能、环保的热泵技术。

(李洪斌,广东省武警广州指挥学院训练部数理教研室 510440; 杨先,云南省大理州下关第三中学 671000)