

本刊
特稿

国际热泵技术发展趋势分析^{*}

中国建筑科学研究院 杨灵艳[☆] 徐 伟 朱清宇 肖 龙

摘要 综述了由国际能源组织热泵中心主办的第 10 届国际热泵大会的相关内容,认为当前热泵技术已进入循环促进、良性发展的阶段。总结分析了当前热泵技术发展的热点,包括地源热泵系统的埋管换热器、复合式系统、系统能效研究,空气源热泵的低温应用、除霜、能效研究以及新型制冷剂和热泵机组的研究等,同时预测了未来国际热泵技术的发展趋势。

关键词 热泵技术 研究热点 发展趋势 地源热泵 空气源热泵

Development trend analysis of heat pump technology at home and abroad

By Yang Lingyan[★], Xu Wei, Zhu Qingyu and Xiao Long

Abstract Reviews the contents of the 10th international heat pump conference hosted by the International Energy Agency (IEA) Heat Pump Centre. Considers that the heat pump technology has entered into a stage of circulating acceleration and sound development. Summarizes the current foci in heat pump technology researches, including the ground heat exchanger, combined system and energy efficiency of ground-source heat pump systems, the low temperature application, defrosting and energy efficiency of air-source heat pump systems, and the development of new refrigerants and heat pump units. Forecasts the future development trend of heat pump technology.

Keywords heat pump technology, research focus, development trend, ground-source heat pump, air-source heat pump

[★] China Academy of Building Research, Beijing, China

①

0 引言

热泵技术于 1854 年提出之后,经历了曲折的发展过程,目前已进入了全面高速发展阶段,尤其在能源危机和全球变暖的环境压力下,热泵技术成为了各国关注的焦点,对各类热泵技术的研究、应用及推广也上升到了一个持续关注的高度。由国际能源组织热泵中心(IEA Heat Pump Centre)主办的国际能源组织热泵大会(简称国际热泵大会)每三年举行一次,是国际热泵界的最高学术会议。会议汇集了全球热泵技术研究与应用进展以及市场的最新信息。参会各国普遍关注的均为当前热泵技术发展的热点,同时讨论热泵技术未来的发展趋势。第 10 届国际热泵大会在日本举行,会议的主题为“The Solution for a Low Carbon World”。笔者对本次大会参会论文进行综述,总结目前国际热泵发展的热点,并对国际热泵发展的趋势和研究

方向进行分析。

1 热泵市场发展分析

回顾热泵技术在世界范围内的发展历程,每一次热泵技术的发展都与能源紧密关联,因此,在矿物能源匮乏的欧洲和日本,热泵技术的研究和发展一直处于领先地位。图 1 为瑞士、德国和芬兰近年来的热泵市场变化情况,图 2 为日本的热泵市场变化情况。可以看出,从 20 世纪 90 年代至今,热泵发展总体处于上升趋势,尤其是进入 21 世纪后,更是增速显著。这与热泵技术的发展和各国能源环境的压力是分不开的,同时热泵市场的发展也与各国经济发展水平息息相关。

从图 1 可以看出,德国和芬兰的热泵市场发展

①[☆] 杨灵艳,女,1981 年 11 月生,博士,副研究员
100013 北京市北三环东路 30 号
(010) 64517412-8003
E-mail: yly8111@163.com

收稿日期:2012-01-16

修回日期:2012-06-29

^{*} 中美清洁能源联合研究中心建筑节能合作项目(编号:2010DFA72740-05-04)

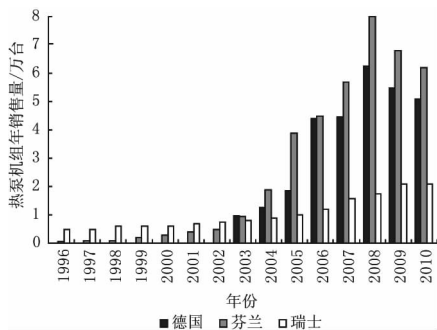


图1 欧洲一些国家的热泵市场变化情况

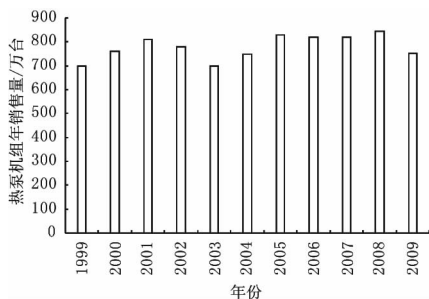


图2 日本的热泵市场变化情况 (包括小型的户用热泵空调器)

在2008年处于顶峰,之后的两年均有不同程度的下滑;只有瑞士2010年的数据勉强与2009年持平。这是由全球性的经济衰退影响造成的,由于各国的能源政策及价格出现了变动,而各类热泵系统的初投资高于常规系统,因此经济的下滑直接影响了热泵市场走向。

与热泵市场不断发展相对应的是热泵制造技术的不断进步和热泵性能的不提升。图3给出了日本各类热泵机组性能系数COP的逐年变化曲线,可以看出,当前热泵机组的性能与十几年前相比均有了较大幅度的提升,尤其对于2.2 kW的房间空调器来说,提升幅度超过90%。

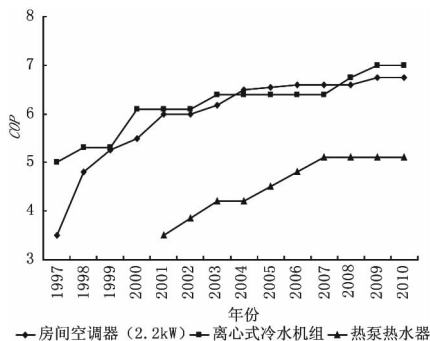


图3 日本各类热泵机组 COP 的变化曲线

品能效水平的不断提升,高效的热泵产品由于更具节能、环保优势又作用于市场,使规模进一步扩大,当前热泵技术已进入一个循环促进、良性发展的阶段。

2 地源热泵技术发展分析

20世纪70年代之前,地源热泵受初投资高、当时的能源价格低等多种因素的影响,一直发展迟缓,在经历了之后的能源危机后,才重新受到人们的重视。尤其在进入21世纪后,经十几年发展,各国地源热泵的应用规模不断扩大。图4为地源热泵在美国、加拿大、法国和瑞士的应用规模变化情况。由图4可见,地源热泵应用发展迅猛,相关研究工作也十分活跃。总结本次大会的论文,发现地源热泵技术研究的焦点集中在以下几个方面。

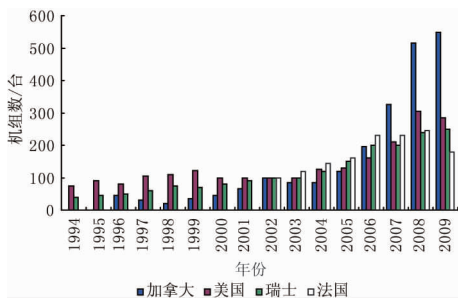


图4 地源热泵应用规模变化情况

2.1 竖直埋管换热器的数值模拟及新型换热器研究

Jalaluddin 等人利用计算流体力学(CFD)技术,对单U、双U和多管的竖直埋管换热器,在连续运行与间歇运行两种工况下进行了模拟分析和实验验证,得到的模拟结果与实验数据可以较好地吻合,且3种竖直埋管换热器在22h的运行周期内,间歇运行比连续运行的换热率分别提高了17.1%、22.5%和16.5%^[1]。Fan Rui 等人用模拟方法研究了土壤导热系数、地下水流速、竖直钻孔参数及运行策略对埋管换热量及出水温度的影响,并进行了线性及非线性回归,为地源热泵的简化设计提供了思路^[2]。Acuna 等人研发的新型埋管换热器由一个绝热中心管和若干个周围细管组成,他们对沿管深方向的流体温度分布进行了测量,结果证明周围细管为吸热主体,且与中心管间无热短路发生^[3]。Gruniger 等人研发了一种以CO₂为介质的虹吸式埋管换热器,并对其流体特性和传热特性进行了模拟,计算得出其季节性能

热泵技术应用规模的不断扩大,推动了热泵产

系数可比传统地埋管提高 15%~20%^[4]。

2.2 复合式地源热泵系统研究

Ooka 等人将太阳能、土壤能和空气源等多种能源方式结合作为热泵的低温热源,模拟计算其与传统热泵系统的能耗差别,结果显示多源热泵系统夏季最大可减少电力消耗 44%,冬季可减少 39%^[5]。Kurmman 等人针对采用太阳能、蓄热与地源热泵相结合系统的单体居住建筑采用遗传算法进行优化模拟设计,实测结果显示热泵短期效率得到了大幅提升,同时也验证了不合理的运行策略是导致系统能效下降的主要原因^[6]。Wakayama 等人基于实际运行数据对桩基短期蓄能地源热泵系统进行研究,结果显示,白天供冷与夜间供生活热水的运行模式可使地源热泵系统取得更高的效率^[7]。潘玉亮等人以北京地区别墅建筑为例,对地源热泵与太阳能复合系统进行了模拟,模拟结果显示,当地埋管换热器换热能力不足时,采用复合系统可以明显改善系统性能^[8]。

2.3 地源热泵系统的 SPF(系统性能系数)及能效的研究

Zottl 等人指出计算系统边界直接影响着测量计算 SPF 参数所需的装置,提出了测量指导方法及对测试装置的精度要求,同时通过对 10 个实际地源热泵项目的测试验证了指导方法^[9]。Edwards 等人建立了地源热泵的数学模型,在循环水泵均为定流量情况下计算 SPF,结果显示辅助元件的能耗在总能耗中占很大比例。同时,在供冷、供热时,部分负荷情况下 SPF 值均有所下降^[10]。Katsura 等人对采用多联机及变流量控制的地源热泵系统进行了 3 年的实测研究,证实变流量与定流量系统相比可以使循环水泵的电耗降低约 80%,使 SPF 值达到 4.51^[11]。肖龙等人提出了系统化的地源热泵设计方法,强调在地源热泵设计全过程中合理科学地应用设计软件的必要性,采用系统化的方法可以大大提高地源热泵设计的合理性、可靠性^[12]。

3 空气源热泵发展分析

空气源热泵的低温热源随处可得,且空气源热泵具有安装使用方便,运行管理简单,初投资相对较低等特点,因此得到了广泛应用,尤其在能源危机之后更是得到了大力推广。但是随着室外环境温度的降低,空气源热泵的性能受到较大影响,在

应用中也存在着许多问题,因此当前空气源热泵的研究多集中在以下几个方面。

3.1 空气源热泵在低温下应用的研究

Minea 提出了一种采用丙烷锅炉作为辅助热源的变速空气源热泵系统,该系统可以解决北美地区传统空气源热泵电辅助加热造成的高峰用电紧张问题,同时将低温环境下空气源热泵的平衡点温度由 -5℃ 降低至 -9℃^[13]。Nogawa 等人在标准房间中应用变频双压缩机空气源热泵,针对低温环境部分负荷工况进行了模拟和实测研究,实测结果表明 COP 可达到 2.6^[14]。Wang Wei 等人在北京地区极端天气下对空气源热泵进行了连续 80 h 的监测,以研究其低温特性,结果显示当室外气温为 -11℃ 时机组 COP 可达到 2.21,供热量满足要求;同时指出误除霜和频繁启停是影响供热稳定性的主要原因^[15]。Abdelaziz 等人对热泵在美国的应用作了总结,对热泵在低温地区应用时可采取的措施进行了归纳分析,并针对美国市场提出了低温地区应用高效热泵机组的建议^[16]。

3.2 空气源热泵的除霜研究

Kwak 等人通过测试肋片管的结霜厚度和结霜量来分析影响多肋片管结霜的因素,研究显示其与空气流量和肋片表面温度相关^[17]。Oltersdorf 等人指出空气/水热泵机组每年的除霜耗电量占热泵总耗电量的 5%,解决这一问题的途径是采用蓄热自然循环除霜来代替电除霜,电能仅作驱动能源。并针对制冷能力为 2 kW 的机组设计了流量分配及除霜方案,使蒸发器具备同时利用两种热源的能力^[18]。Byrne 等人对空气源热泵两相热虹吸管除霜技术进行了研究,该空气源热泵系统有空气/制冷剂和水/制冷剂两个蒸发器,在两个蒸发器间设热虹吸管,回收制冷循环过冷热用于除霜,模拟结果表明系统 COP 可提高 12%^[19]。Wang Wei 等人对新型光电传感器在空气源热泵除霜控制中的应用进行了研究,结果表明光电传感器可以显著延长除霜时间间隔,避免误除霜现象,可使测试机组 COP 提高 8%^[20]。

3.3 空气源热泵的能效研究

Mortada 等人研发了采用迷你流道换热器的小型热泵机组,减少了传统空气源热泵配置高于建筑负荷需求造成的能源浪费,并对应用 R1234yf 和 R134a 两种制冷剂的示范项目进行了能效水平研

究^[21]。Gasser 等人通过模拟和实验研究,得出了通用有效的设计准则,通过控制压缩机和风机以实现空气/水热泵系统的高效性、可靠性和经济性。研究表明,采用连续控制的热泵机组其季节性能系数比开/关控制的机组提高约 10%~60%^[22-23]。Fardoun 等人用 MATLAB 软件建立空气源热泵热水器的数学模型来研究其能效特性,结果显示热水生产率随蓄热水箱容积减小而上升,整体 COP 随室外环境温度升高而增大^[24]。

3.4 空气源热泵噪声影响的研究

Johansson 等人对空气/空气热泵机组的噪声问题进行了研究,通过对不同噪声机组的对比研究发现,室内噪声水平与室外环境无关,与风机的类型和转速有直接关系。而室外机组噪声则随天气而变化,有些噪声是由部分负荷运行产生的^[25-26]。

4 系统及组成部分研究

组成热泵机组的关键部件及控制系统对机组能效有着至关重要的影响,同时,热泵主机能否发挥其全部节能潜力与系统又是息息相关的,因此系统及热泵组成部件一直受到业内的广泛关注,当前的研究工作主要集中在以下几个方面。

4.1 新型制冷剂在热泵中的应用研究

Taira 等人指出由于热泵在各国应用的气候区、运行工况、使用方式及各国的法律条例均不同,因此选择制冷剂的标准也不同,应针对不同地区、不同应用条件,选取不同的制冷剂替代方案^[27]。Murphy 等人通过实验评估了制冷剂 R134a 和其替代制冷剂 R1234yf 在家用电驱动热泵中的应用,测试结果显示采用 R1234yf 时的 COP 比采用 R134a 时约低 6%,可采用更换热力膨胀阀的方法进行改善^[28]。Winandy 等人对适用于 R407C 和 R410A 的热泵机组进行了优化设计,研究以实际压缩过程为基础,结果表明在最新蒸气涡旋压缩技术下,R410A 的性能优于 R407C^[29]。Palm 讨论了新型制冷剂选择的标准及关注的信息,并对即将上市的新型制冷剂 R1234yf 及相近的 R1234ze 进行了介绍^[30]。Koyama 等人对非共沸二元制冷剂热泵循环进行了实验研究,结果表明当采用 R1234ze 和 R32(质量分数比为 20%:80%)的二元制冷剂时热泵 COP 与采用 R410A 时几乎相同^[31]。

4.2 变制冷剂流量热泵系统理论及实践应用研究

Ohno 等人指出由于变制冷剂流量系统运行

及控制方式多变,其性能系数难以估计,因此建立了实验测试装置,对具有 4 个末端装置的系统稳态下的性能系数进行了测试研究分析。而后他们又指出仅采用实验来验证系统能效具有一定的局限性,因此对变制冷剂流量系统建立数学模型,进行非稳态模拟,并通过实验验证了模型的正确性,可以采用该模型预测系统实际运行工况^[32-34]。Akimoto 等人进行了智能能量管理系统研究,以减少变制冷剂流量系统的能耗。即通过监测与控制变制冷剂流量系统的运行模式可以使其与传统系统相比具有较高的 COP,在 2 个项目中的应用情况表明能效可分别提高 30% 和 20%^[35]。Kikuch 等人使用压缩机曲线法对变制冷剂流量系统的性能进行了评价研究,该方法可以使用较少的测量装置来预测制冷剂流量,即采用压缩机曲线法建立了变制冷剂流量模型并证明了其有效性^[36]。Doctor 等人指出在独立新风系统中除热回收技术外,应用变制冷剂流量技术可以提高独立新风系统对不同室外气候环境的适应性,降低压缩机在变制冷剂流量时的能耗。同时指出系统的膨胀装置和空气盘管需与变流量运行的工况相适应^[37]。

4.3 新型热泵换热器研究

Bruderer 等人提出在联合国教科文组织的世界文化遗产建筑中,采用地源热泵和加强保温都受到严格限制时,可以采用一种新型屋面瓦集热器,这种特殊设计的屋面瓦集热器的材质为铜,具有良好的集热能力,可以吸收太阳热、周围空气及雨水中的热量,作为热泵的低位热源。通过在瑞士和德国的应用,证明这种新型换热器是热泵应用的新选择^[38]。Song 等人对锯齿形肋片换热器的特性进行了研究,这种新型换热器设计了锯齿肋片以提高换热性能,与百叶窗肋片相比在低流速区具有更高的换热效率^[39]。Saleh 等人采用在线多目标优化方法来设计新型风冷换热器,采用多尺度模拟提高了模型的逼真度,并采用 CFD 技术与 ϵ -NTU 法耦合求解换热器的性能,在取得更好的优化结果的同时,大大降低了计算成本^[40]。

4.4 吸附式、吸收式热泵研究

van der Pal 等人研发了一种压缩/吸收混合式热泵机组,将低于 100 °C 的工业废热进行提升,对混合式热泵建立模拟计算模型并进行实测验证,结果显示当压缩机位于蒸发器和吸附反应器之间

时,其对机组能效的影响显著大于压缩机位于吸附反应器和冷凝器之间时,后者与纯粹热驱动机组相比能效几乎相同,充分证明了研究系统内各部件之间相互影响的重要性^[41]。Miyazaki 等人提出了一种双蒸发器吸收式制冷机,这一新型制冷机由 2 个蒸发器、1 个冷凝器和 3 个吸收器组成,蒸发和吸收同时在 2 个不同的压力下进行,可以扩大浓缩和稀释过程中吸附质的浓度变化范围。实验结果表明在给定条件下双蒸发器吸收式机组的 COP 是普通机组的 3.4 倍^[42]。Hu 等人对 3 种双效吸收式制冷机组分别建模,并在相同初始条件及供冷量情况下进行模拟计算。通过详细的分析可知,机组的发生器、吸收器和换热器处的焓损失显著高于蒸发器、冷凝器和膨胀阀处。低温发生器优先串联式机组比高温发生器优先串联式机组和并联式机组有更高的 COP 和焓效率,但是也最容易结晶,而并联式机组则在能效和避免结晶两方面都有不错的表现^[43]。

5 热泵技术应用发展研究

地源热泵技术、空气源热泵技术及热泵部件和系统的不断发展,推动了热泵技术应用范围的不断扩大,近年来热泵技术应用主要集中在以下几个方面。

5.1 热泵在低能耗建筑中的应用研究

Ruud 等人对瑞典不同气候区内不同围护结构的建筑应用不同供能系统时的能耗量和价格进行了计算,结果显示地源热泵具有较低的年能耗量,但是初投资仍高于其他可选方式^[44]。Koster 等人对荷兰的低能耗建筑进行了研究,发现热泵是有效实现低能耗的可行手段,适用于大规模住宅项目,且监测装置的使用可以降低维护费用,提升用户满意度^[45]。Nagano 等人设计了与地源热泵集成的被动式低能耗建筑,通过测量其全年能耗,自动控制通风系统的温度和湿度,改变地源热泵系统的运行方式,并开发了适用的模拟软件,最终得出了保证舒适性和低能耗的高效控制方式^[46]。Itoh 等人采用热泵和蓄热技术实现低碳建筑设计,将地源热泵与空气源热泵相结合,同时采用潜热储热系统,与建筑能源管理系统结合,有效降低建筑能耗^[47]。Tanabe 指出了高效空气源热泵对实现二氧化碳减排任务的重要性,并探讨了空气源热泵在减少不同国家不同类型建筑能耗方面可能扮演的

角色^[48]。

5.2 热泵工业中的应用研究

Sakashita 介绍了工业热泵在过去 30 年对节能和阻止全球变暖所作的贡献,同时指出了其应用仍然局限于小部分区域的原因,分析了阻碍其发展的壁垒以及现实可行的解决措施,尤其是 CDM(清洁发展机制)项目的实施对其未来的发展起到了重要推动作用^[49]。Sakamoto 等人对 11 个国家的食品和饮料行业应用热泵技术可实现的 CO₂ 减排潜力进行了估算,假设采用电驱动热泵取代供热温度在 100 °C 以下的蒸汽锅炉,估算结果显示每年的 CO₂ 减排量可达到 4 700 万 t,达到参与调查国家工业燃料燃烧产生的 CO₂ 总量的 1.4%^[50]。Kadowaki 等人开发了一种具有温湿度调节功能的烘干木材热泵系统,与传统的矿物燃料锅炉相比可以显著降低 CO₂ 排放量,提高系统经济性,同时还可以提高木材烘干的质量^[51]。Nordtvedt 等人对安装在挪威屠宰场的混合式余热回收热泵的运行经验进行了分析,这种压缩和吸收式混合热泵采用氨水作为工作介质,可以回收制冷过程中温度约为 50 °C 的介质中的冷凝热,将热水侧温度提升至 100 °C^[52]。

5.3 热泵系统在各类不同建筑中的应用研究

Rognon 等人介绍了瑞士联邦能源办公室于 1994 年启动的供热现场监测项目,截至 2003 年有 250 个低于 25 kW 的热泵系统纳入监测范围,其中 150 个为长期监测项目,100 个已经监测超过 10 年。监测的目标是通过长期测试得到热泵系统全寿命周期内的可靠性、稳定性及 SPF 变化特点^[53]。Iba 等人对日本山梨县大型商业设施中应用的高效模块热泵机组进行了连续 7 个月的实测研究,结果表明应用大型模块热泵机组运行效率高干传统吸收式热泵,在部分负荷情况下优势更加明显^[54]。Yanagihara 等人对应用在大型实验室建筑中的蓄能型暖通空调系统进行了实测研究,分析了 15 年的监测数据,结果表明该系统具有良好的节能特性^[55]。Liu 基于能耗状况及不同天气、地理位置差异,分析了改造美国单户地源热泵系统的收益。收益包括节能、降低夏季电力峰值以及减少使用者费用等几个方面^[56]。

6 热泵技术未来发展趋势预测

6.1 热泵应用仍将处于高速发展的上升阶段

作为节能减排的技术,热泵技术前景广阔,会有越来越多的国家及政府、企业意识到热泵可以带来的节能及环保效益,市场数据也表明未来发展趋势良好。

6.2 地源热泵、空气源热泵的高效化研究仍然存在较大提升空间

各个国家及地区的实际情况不同,因此关注的热泵技术不同,在换热器、热泵机组、系统控制优化及低温环境应用等各方面都有研究。总体来说地源热泵和空气源热泵的高效应用仍是各国关注的目标,也是未来热泵技术研究的重要方向之一。

6.3 新型高效环保制冷剂在热泵机组中的应用是广泛关注的焦点

受气候公约的限制,随着现有制冷剂的禁用,新型高效环保制冷剂的探索及其在热泵中的应用成为一个紧迫的课题,目前世界各国均在不断的探索当中。

6.4 复合式热泵系统研究活跃

可再生能源作为低位热源使热泵系统受其变化影响较大,根据各个国家及地区的实际情况,采用复合热泵技术可以实现更好的节能环保效果,因此复合热泵系统研究仍然具有很大的空间。

6.5 各种热泵形式在不同建筑中的应用及优化研究也是热泵技术应用研究重点之一

研究热泵技术在实际工程中的应用,使热泵的节能环保作用在实际中得以更好地发挥,是推广热泵技术的重要基础,因此实际工程应用及优化研究工作十分重要。

参考文献:

- [1] Jalaluddin, Miyara A, Tsubaki K, et al. Numerical simulation of vertical ground heat exchangers for ground source heat pumps[C]//10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [2] Fan Rui, Chen Xu, Long Weiding, et al. Regression analysis on influence of various factors on heat transfer of vertical ground heat exchanger[C]//10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [3] Acuna J, Palm B. Distributed temperature measurements on a multi-pipe coaxial borehole heat exchanger[C]//10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011

- [4] Gruniger A, Wellig B. Fluid dynamics and heat transport in CO₂ geothermal heat probes[C]//10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [5] Ooka R, Hino T, Sato H, et al. Development of multi-source and multi-use heat pump system[C]//10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [6] Kurmann P, Ursenbacher T, Tenconi A. Improved integration of a 28 m³ seasonal thermal storage in the heating and DHW supply of a single family home with a geothermal heat pump and flat plate solar collectors[C]//10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [7] Wakayama H, Sato N, Nagano K, et al. Study on ground source heat pump system applying PHC foundation piles and short term thermal energy storage[C]//10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [8] Pan Yuliang, Xu Wei. Application analysis of combined operation mode of ground-coupled heat pump systems with solar thermal collector in residential buildings in Beijing area[C]//10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [9] Zottl A, Nordaman R, Miara M, et al. System boundaries for SPF-calculation[C]//10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [10] Edwards K S, Finn D P, Corberan J M, et al. Evaluation of a building integrated ground source heat pump using system performance factors[C]//10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [11] Katsura T, Nakamura Y, Nagano K. Experimental proof of seasonal performance of the ground source heat pump system applying variable water flow control and multi-split heat pump[C]//10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [12] Xiao Long, Zhu Qingyu, Xu Wei. Systemic design method of ground coupled heat pump[C]//10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [13] Minea V. Dual-energy source heat pump[C]//10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [14] Nogawa T, Shimizu K, Ishikawa M, et al. Development and performance measurement of room air-conditioner suitable for house in cold region[C]//10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [15] Wang W, Xiao J, Guo Q, et al. Field test study on

- the performance of air source heat pump in low temperature in Beijing[C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [16] Abdelaziz O, Shen B, Gao Z, et al. Development of a high performance air source heat pump for the US market[C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [17] Kwak D, Kim S, Cho K, et al. Effect of frost on the heat transfer of fin-tube with multiple fins[C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [18] Oltersdorf T, Hoehlein S, Wapler J, et al. Natural circulation defrosting in fin-and-tube heat exchangers with highly distributed refrigerant mass flow[C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [19] Byrne P, Miriel J, Lenat Y. A two-phase thermosiphon defrosting technique for air-source heat pumps [C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [20] Wang W, Xiao J, Guo Q, et al. Characteristics of an innovative photoelectric sensor during periodical frost and defrost cycles [C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [21] Mortada S, Clodic D, Arzano-Daurelle C. Energy efficient air to air heat pump operating with R-1234yf [C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [22] Gasser L, Wyssen I, Kleingries M, et al. Continuous capacity control—the key to high efficient air/water heat pumps [C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [23] Wellig B. Design of efficient capacity controlled air/water heat pumps [C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [24] Fardoun F, Ibrahim O, Zoughaib A. Dynamic modeling of an air source heat pump water heater[C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [25] Johansson H, Gustafsson O, Larsson K, et al. Noise investigation of air-to-air heat pumps[C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [26] Gustafsson O, Johansson H, Fahlen P, et al. Noise level in relation to energy performance of air-to-air heat pumps[C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [27] Taira S, Yamakawa T, Nakai A, et al. Examination regarding air-conditioners and heat pumps, using the next generation refrigerants [C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [28] Murphy R W, Baxter V D, Vineyard E A, et al. Drop-in evaluation of refrigerant 1234yf in a residential integral heat pump water heater[C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [29] Winandy E, Fraccari E, Hundy G. Optimizing heat pump design for refrigerants R407C and R410A[C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [29] Palm B. Refrigerants of the future[C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [31] Koyama S, Takata N, Fukuda S. An experimental study on heat pump cycle using zeotropic binary refrigerant of HFO-1234ze(e) and HFC-32[C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [32] Ohno K, Saito K, Nakamura H, et al. Unsteady state simulation of VRF systems[C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [33] Nakamura H, Murata H, Saito K, et al. Performance evaluation of VRF systems—2nd report experimental evaluation of steady state driving[C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [34] Matsumoto K, Fujimoto I, Saito K, et al. Performance evaluation of VRF systems—1st report experimental evaluation of steady state driving[C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [35] Akimoto M, Kawai M, Kobayashi K. Intelligent energy management system: verification of an algorithm for reducing energy consumption in variable refrigerant flow [C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [36] Kikuch M, Ohno K, Saito K. Performance evaluation of VRF systems using compressor curve method[C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [37] Doctor T R, Gavrilut F. DOAS heat pump with variable refrigerant flow (VRF)[C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [38] Bruderer H, Heuschkel M, Hohl H. Heat pump systems with roof tile collector[C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [39] Song C, Yoon S, Lee K, et al. Study on the characteristics of offset strip fin in a heat exchanger [C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011

- [40] Saleh K, Radermacher R, Aute V, et al. An online approximation assisted optimization of a novel air-cooled heat exchanger[C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [41] van der Pal M, de Boer R, Wemmers A, et al. Experimental results and model calculation of a hybrid adsorption-compression heat pump based on a roots compressor and silica gel-water sorption[C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [42] Miyazaki T, Tani Y, Ueda Y, et al. The experimental investigation of the dual evaporator type adsorption chiller [C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [43] Hu Y, Schaefer L, Hartkopf V. Energy and exergy analysis of double effect (parallel and series flow) absorption chiller systems[C]//10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [44] Ruud S, Axell M. Economic heating system for low energy buildings in Sweden [C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [45] Koster S J, Kleefkens O. Emerging heat pump concepts for low energy houses in the Netherlands [C]//10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [46] Nagano K, Kinumura T, Nakamura M, et al. Ground source heat pump system for net zero energy house[C]// 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [47] Itoh T, Nakayama K, Onojima H. Design/engineering of low CO₂ emission office building using heat pump and thermal storage[C]//10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [48] Tanabe S. The important of air source heat pumps for zero energy buildings[C]//10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [49] Sakashita S. Industrial heat pump—contribution to global warming prevention and its issues[C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [50] Sakamoto Y, Hanagata M, Ikeda K. CO₂ and primary energy consumption reductions potential with heat pump technologies in the food and beverage sector[C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [51] Kadowaki K, Machida A, Nishida K, et al. Development of a kiln dried wood system using heat pump technology [C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [52] Nordtvedt S R, Horntvedt B R, Eikefjord J, et al. Hybrid heat pump for waste heat recovery in Norwegian food industry[C]// 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [53] Rognon F, Hubacher P. Long-term behaviour and performance of residential heat pumps in dwellings [C]//10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [54] Iba I, Ishida Y, Hamamura M, et al. Actual condition investigation of high efficiency large-capacity electric heat pump modular chilling units installed at large commercial facilities[C]//10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [55] Yanagihara R, Kawano M. Strategies for optimal operation of thermal storage type HVAC systems of a large scale laboratory building[C] // 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011
- [56] Liu Xiaobing. Assessment of national benefits of retrofitting existing single-family homes in United States with ground-source heat pump systems[C]// 10th IEA Heat Pump Conference. Japan, 2011

• 简讯 •

节能燃煤直燃机集中空调系统在宝鸡试验成功

2012 年 7 月 18 日,微排放燃煤直燃机集中空调系统在宝鸡试验成功。国务院发展研究中心产业部杨建龙副部长、科技部办公厅胥和平副主任、住房和城乡建设部綦升辉司长等 10 余位专家学者参观了海浪微排放燃煤直燃机集中空调试验现场,并参加了专题研讨会。

这种燃煤的直燃机集中空调依托具有国际先进水平的海浪煤炭洁净燃烧技术,彻底改变了传统的设计思路,通过洁净燃烧的煤炭直接加热溴化锂,不再使用任何中间介质,既节约了煤炭,又成倍提高了热效率,可在冬季供暖,夏季

供冷,还能利用余热生产大量洗浴用热水。

该技术是国务院经济发展研究中心和发改委、财政部、科技部等部门联合推广的突破性创新技术,它可使煤炭燃烧率提高到 98.8%,无烟无尘,节煤率高达 30%,各项污染排放均大大优于国家控制标准,其中二氧化硫排放比天然气燃烧的排放标准还要低。一幢 6 000 m² 的大楼,每天供冷只需消耗煤炭 650 kg 左右。技术人员测算,冬季供暖每 m² 成本在 3 元左右,仅为天然气供暖费用的 1/4。

(本刊特约通讯员 王立峰)