

文章编号:0253 – 4339(2015) 05 – 0055 – 05
doi:10. 3969/j. issn. 0253 – 4339. 2015. 05. 055

光伏并网式家用空调系统性能的实验研究

金听祥 徐笑锋

(郑州轻工业学院能源与动力工程学院 郑州 450002)

摘 要 针对目前的家用空调系统,本文设计了一种以太阳能光伏发电技术为基础,与国家电网并网,共同驱动空调工作的系统,称为光伏并网式家用空调系统。利用光伏发电技术,通过逆变器将太阳能提供的电力转变为 220 V、50 Hz 家用电源,实现与市电网的并网,来共同驱动空调运行。利用焓差实验室,对光伏并网式家用空调系统在连接 100 W、135 W 和 185 W 不同功率太阳能电池板进行空调系统的性能实验。实验结果表明:光伏并网式空调系统能稳定驱动运行。在标准工况下,与常规家用空调系统相比,制冷模式下,光伏并网式空调系统的制冷功率分别减少 52 W、78 W 和 104 W,能效比分别提高 4.2%、5.5% 和 10.2%。制热模式下,光伏并网式空调系统的制热功率分别减少 68 W、84 W 和 116 W,性能系数分别提高 6.4%、8% 和 11%。这表明光伏并网式家用空调系统是可行的,还可以有效节能。

关键词 空调系统;光伏并网;太阳能电池板;能效比(EER);性能系数(COP)

中图分类号:TB657;TM925.1 **文献标识码:**A

Experimental Investigation on the Performance of Household Air Conditioning System with Grid-connected Photovoltaic Generation

Jin Tingxiang Xu Xiaofeng

(School of Energy & Power Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou, 450002, China)

Abstract With the base of traditional air conditioning system, the grid-connected photovoltaic household air conditioning system based on the solar photovoltaic power generation technology is designed in this paper. The power with the solar photovoltaic power generation technology is transformed into the household power of 220 V and 50 Hz by inverter. The household air conditioning system is then driven by the transformed power and national grid. The performance of the photovoltaic grid-connected household air conditioning system was tested by Enthalpy Difference Lab under the different power (100 W, 135 W and 185 W) of solar panels. The experimental results show that under normal cooling conditions, the average power consumption of the air conditioning system with the different power (100 W, 135 W and 185 W) of solar panels are 52 W, 78 W and 104 W lower than that of the traditional air conditioning system respectively. Similarly, energy efficiency ratios of the air conditioning system with the different power (100 W, 135 W and 185 W) of solar panels are 4.2%, 5.5% and 10.2% lower than that of the traditional air conditioning system respectively. Under heating mode, the average power consumption of the air conditioning system with the different power (100 W, 135 W and 185 W) of solar panels are 68 W, 84 W and 116 W lower than that of the traditional air conditioning system, and the coefficients of performances are 6.4%, 8% and 11% lower than that of the traditional air conditioning system. It can be concluded that the photovoltaic grid-connected household air conditioning system is feasible.

Keywords air conditioning system; grid-connected photovoltaic generation; solar panels; energy efficiency ratio (EER); coefficient of performance (COP)

我国建筑总能耗约占社会终端能耗的 33%,建筑能耗中空调和采暖能耗又占相当大的一部分^[1],所以空调的节能性是未来的一种发展趋势。传统的电力空调不仅耗能较多,而且发电消耗化石能源,对环境污染较大。太阳能作为一种新型能源,具有分布广、可再生、环保无污染等优点,是国际公认的理想替代能源^[2-3]。太阳能

空调也成为近几年国内外学者研究的主要方向。针对太阳能不同的利用方式,太阳能空调分为光热空调系统与光伏空调系统。在光热利用方面,空调系统多采用吸收式与吸附式制冷^[4-9]。浙江能源科技研究院杜强等^[10]研究了一种将光伏与光热结合的太阳能热泵技术,有效提高了太阳能的利用效率。在光电利用方面,

Aguila F J 等^[11]研究了太阳能光伏电池板驱动变频空调压缩机的一种空调系统,这种系统与电网链接,主要由太阳能电池板驱动,能效比较高,空调性能较好。Keliang L 等^[12]研究了光伏辅助热泵变频压缩机系统,不仅利用了太阳能光伏电池板,而且将制冷剂用于电池板的降温,有效提高了空调性能与太阳能利用效率。上海交通大学吕光昭等^[13-14]设计研究了一种带蓄电池的独立光伏空调系统,完全由太阳能光伏发电独立供应空调运行,多余电量还可以储存在蓄电池里。

本文设计了一种利用太阳能光伏发电技术与电网混合驱动的空调系统,称为光伏并网式空调系统。系统主要由太阳能光伏电池板发电与市电网联网、太阳能、电能共同驱动空调工作。在空调待机的情况下,太阳能电池板所产生电能还可提供给其他家用负载电器使用;在太阳能不充足的天气条件下,市电网主要驱动空调系统运行,保证了空调系统的稳定性。通过在焓差实验室,对光伏并网式空调系统的性能进行实验研究,证明系统的可行性与节能性。

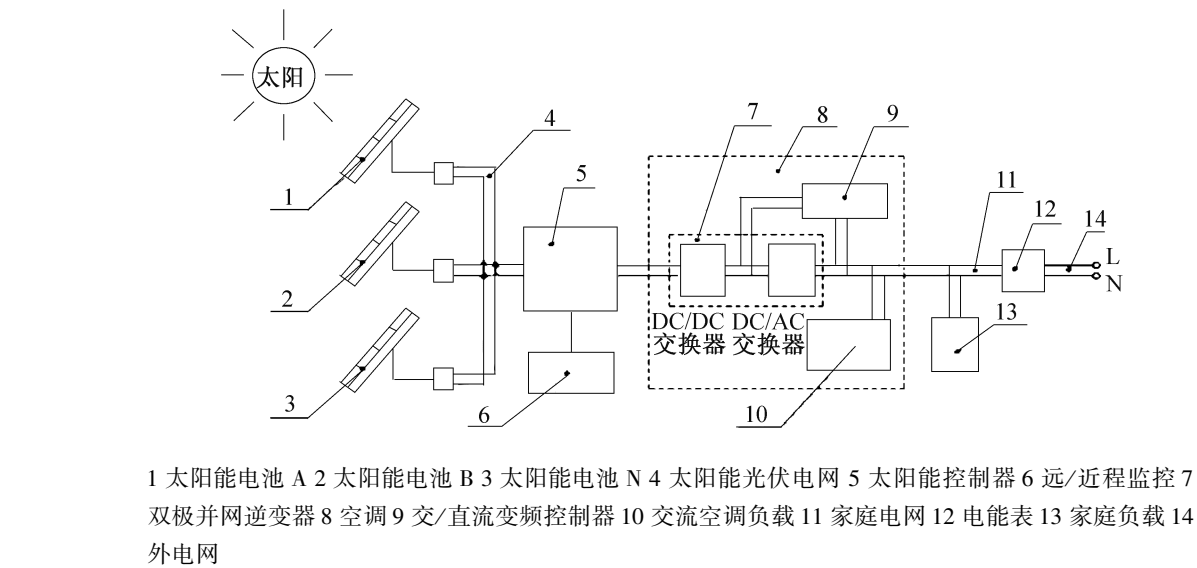


图 1 光伏并网式家用空调系统的工作原理图

Fig.1 The principle diagram of grid-connected photovoltaic home air-conditioning system

系统主要有三种工作状态:1)当负载大于太阳能光伏发电的电能时,优先使用太阳能光伏发电的电能,不足时由供电电网进行补充;2)当负载等于太阳能光伏发电的电量时,优先使用太阳能光伏发电的电能;3)当负载小于太阳能光伏发电,多余的电能可进入家庭电网使用,如再有多余的电能可向供电电网。

1 系统的设计及实验方法

1.1 光伏并网式空调系统设计

本文设计的光伏并网式空调系统主要由以下部分构成:太阳能电池板^[15]、DC/AC 双极逆变器^[16]、电路万用表、逆向电路表、1.5 P 定频房间空调器 1 台等。光伏并网式空调系统构成图如图 1 所示,工作原理如下:系统中双极并网逆变器 7 内置在空调 8 室外机中,太阳能光伏电池阵列 A、太阳能光伏电池阵列 B 和太阳能光伏电池阵列 N 通过太阳能控制器 5 产生直流电,经过太阳能光伏电网 4,进入双极并网逆变器 7 内,7 中前级 DC/DC 变换器主要将输入的直流电压升高并稳压,稳压后经过 DC/AC 逆变器逆变成家庭用 220 V/50 Hz 的常规交流电源,提供给空调交/直流变频控制器 9 和空调交流负载 10 使用,交/直流变频空调控制器 9 同时可以使用未经 DC/AC 逆变的直流稳压电源。逆变后的交流稳压电路和家庭电网 11 在空调室外机电源线接线端子处并接、或在空调电源插座中实现并网,联合供空调 8 使用,并保证太阳能所发电能得到优先使用。

1.2 实验方法

1.2.1 光伏发电辅助空调驱动测试

1)初期实验进行系统可行性测试与性能测试,采用较小功率太阳能电池板发电。分别将功率为 100 W、135 W、185 W 的太阳能电池板放置于室外,调整电池板的角度与阳光辐射成 90°夹角,利用逆变器通过电能表将太阳能电池板所发的电流与空调连

接。开启空调,待 30 min 空调稳定运行之后,每间隔 15 min 观察温度计与电能表测试室外温度与耗电情况。

2)不连接太阳能电池板,完全采用市电网供电驱动空调。开启空调,待 30 min 空调稳定运行之后,每间隔 15 min 观察温度计与电能表测试室外温度与耗电情况。

1. 2. 2 光伏并网式空调系统性能与能耗测试

本实验在 5 HP 焓差实验室内进行,利用焓差法测量空调的性能。实验平台主要依据的标准为 ISO D5151—94《不带风道的空调器和热泵的试验和测定》,国家标准 GB/T7725—2004《房间空气调节器》。焓差法的主要计算方法是根据入风干、湿球温度、送风入干、湿球温度,大气压、零调压差等项指标,通过标准公式计算出焓值,进而通过焓值差来表明空调器的制冷能力及制热能力。具体实验步骤为:1)设定额定制冷工况,采用光伏发电与市电共同驱动空调系统,分别不连接太阳能电池板、连接 100 W、135 W、185 W 太阳能电池板。等待系统工况稳定后,记录功率、空调能效比 EER 等数据。2)设定额定制热工况,采用光伏发电与市电共同驱动空调系统,分别不连接太阳能电池板、连接 100 W、135 W、185 W 太阳能电池板。等待系统工况稳定后,记录功率、空调性能系数 COP 等数据。

2 实验数据与分析对比

2. 1 光伏发电辅助驱动系统的分析

发电性能的测试时间在 9:00 ~ 16:00 进行,室外温度最高可达到 41 ℃,空调设定温度为 16 ℃,分别连接不同功率太阳能板进行发电性能对比,数据如表 1 所示。但是由于光照角度、线路损耗、逆变器转换效率等原因,太阳能电池板所发电量并没有百分之百投入空调使用中,实际供电量约为额定发电量的 63% 左右。在连接最大功率电池板 185 W 时,每小时节省电能约 0. 11 kW · h,占空调每小时耗电量的 10% 左右。实验证明,太阳能电池板发电可供空调使用;在空调待机状态时,逆向电流表有读数显示,光伏发电可供其他家用负载使用,有效达到节约电能的目的。但是由于太阳能电池板功率略小,不能完全供应空调所需电量,必须与市电网连接。

2. 2 系统性能的分析

2. 2. 1 额定制冷工况下的系统性能

设定空调温度为 16 ℃,在焓差实验室内得到空调性能相关数据如图 2 和图 3 所示。实验数据中表明,空调的制冷量基本保持不变。随着太阳能电

池板的功率增大,制冷消耗的市电网提供的功率逐步减小,空调的性能指标(能效比 EER)也有明显提高。能效比的计算方法为制冷量与制冷消耗功率的比值,即为每消耗一单位功率所得到的冷量。在投入太阳能光伏发电之后,空调的能效比明显得到提高,最高可以提高 10. 2% 左右;制冷消耗功率也大大降低,最高可以降低 104 W。实验证明,在额定制冷工况下,采用光伏并网式空调系统,有效提高空调的性能。

表 1 光伏发电功率数据统计表

Tab. 1 Photovoltaic parameters

投入太阳能电池板的功率/W	测试每小时耗电量/(kW · h)
0	1. 2
100	1. 14
135	1. 11
185	1. 09

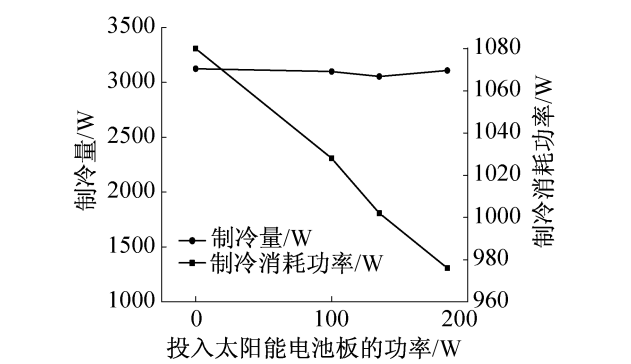


图 2 制冷量与功耗随太阳能电池板功率变化图

Fig. 2 Variation of cooling capacity and power consumption with the power of solar panels

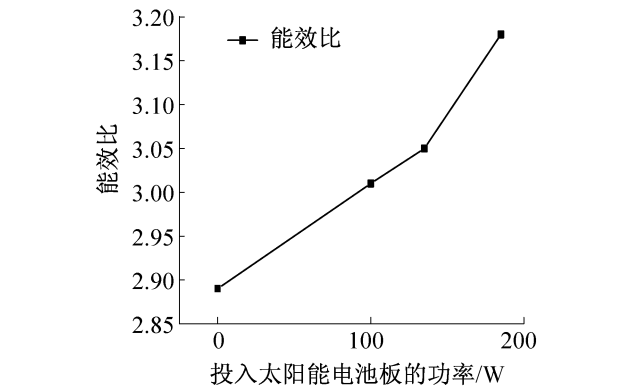


图 3 能效比随太阳能电池板功率变化图

Fig. 3 Variation of EER with the power of solar panels

2. 2. 2 额定制热工况下的系统性能

设定空调温度为 30 ℃,在焓差实验室内得到空

调性能相关数据如图4和图5所示。实验数据中表明,空调的制热量基本无变化。随着太阳能电池板功率的增大,空调制热消耗市电网所提供的功率逐渐降低,制热性能系数COP明显提高。制热性能系数COP的计算方法为制热量与空调制热消耗功率的比值,即为每消耗一单位功率所得到的热量。在投入太阳能光伏发电系统后,空调的制热消耗功率明显减少,最高可减少116 W;空调的制热性能指标COP也有效提高,最高可提高11%左右。实验证明,在额定制热工况下,采用光伏并网式空调系统,有效提高了空调性能。

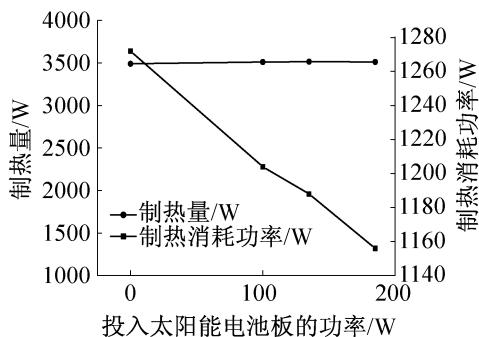


图4 制热量与功耗随太阳能电池板功率变化图

Fig. 4 Variation of heating capacity and power consumption with the power of solar panels

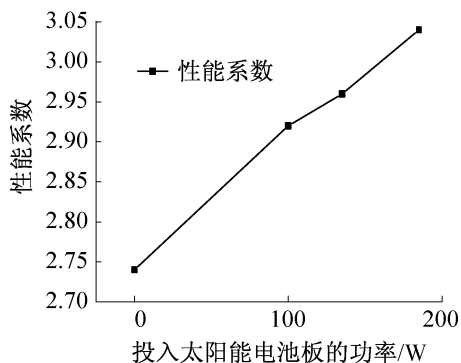


图5 性能系数随太阳能电池板功率变化图

Fig. 5 Variation of COP with the power of solar panels

3 结论

本文在安装了不同功率太阳能电池板后,利用焓差实验室对太阳能光伏并网式空调系统的性能测试实验,与没有连接太阳能电池板的普通机械压缩式空调系统进行对比分析,可以得到以下结论:

1) 光伏并网式家用空调系统可以正常稳定运行,太阳能电池板发电可以有效驱动房间空调器并且保证空调优先使用光伏发电。在空调待机状态下,光

伏发电可供其他家用负载利用。

2) 光伏并网式家用空调系统可以有效节约电能,在用电高峰期缓解电力紧张。实验数据表明,在标准工况下光伏并网式家用空调系统在连接100 W、135 W和185 W太阳能电池板时,制冷功率分别为1028 W、1002 W、976 W,相对于普通家用空调制冷功率1080 W减少了52 W、78 W和104 W,制热功率分别为1204 W、1188 W、1156 W,相对普通家用空调系统制热功率1272 W减少了68 W、84 W和116 W。

3) 光伏并网式家用空调系统可以有效提高空调性能。光伏发电的利用有效降低了市电网功率的消耗,从而提高空调系统的能效。实验数据表明,在标准工况下光伏并网式家用空调系统在连接100 W、135 W和185 W太阳能电池板时,能效比分别为3.01、3.05、3.18,相对于普通家用空调的制冷能效比(EER)2.89分别提高了4.2%、5.5%和10.2%,制热性能系数COP分别为2.92、2.96、3.04,相对于普通家用空调的制热性能系数(COP)2.74分别提高了6.4%、8%和11%。

太阳能作为一种新型可再生能源,可有效的降低化石能源的消耗,环保清洁无污染。但是光伏并网式家用空调系统具有造价高、太阳能利用率低等缺点。而且由于电路与部分元件的消耗,导致太阳能发电不能全部投入使用。在以后的太阳能资源利用研究中,提高太阳能利用效率与降低系统成本将是一个研究方向与发展趋势。

参考文献

- [1] 江亿. 我国建筑能耗趋势与节能重点[J]. 建设科技, 2006(7): 10-13. (Jiang Yi. The key to building energy consumption trend and energy saving in China[J]. Construction Science and Technology, 2006(7): 10 -13.)
- [2] 李春鹏, 张廷元, 周封. 太阳能光伏发电综述[J]. 电工材料, 2006(3): 45-48. (Li Chunpeng, Zhang Tingyuan, Zhou Feng. Summarization of solar energy PV generation[J]. Electrical Engineering Materials, 2006(3): 45-48.)
- [3] 谭军毅, 余国保, 舒水明. 国内外太阳能空调研究现状及展望[J]. 制冷与空调(四川), 2013, 27(4): 393-399. (Tan Junyi, Yu Guobao, Shu Shuiming. Domestic and international research status and prospects of solar-driven air-conditioning[J]. Refrigeration and Air Conditioning, 2013, 27(4): 393-399.)
- [4] 王玉晨. 太阳能空调制冷技术[J]. 包钢科技, 2013, 39(6): 71-74. (Wang Yuchen. Refrigeration technology of solar air conditioning[J]. Science and Technology of Baotou Steel, 2013, 39(6): 71-74.)

- [5] 代彦军, 王如竹. 太阳能空调制冷技术[J]. 太阳能, 2010(5): 20-26. (Dai Yanjun, Wang Ruzhu. Refrigeration technology of solar air conditioning[J]. Solar Energy, 2010(5): 20-26.)
- [6] 金叶佳, 尹芳芳, 李开创, 等. 常见太阳能空调制冷技术的现状及比较[J]. 太阳能, 2011(9): 32-35. (Jin Yejia, Yin Fangfang, Li Kaichuang. Comparison and present situation of common refrigeration technology of solar air conditioning [J]. Solar Energy, 2011(9): 32-35.)
- [7] 吕斌. 太阳能空调技术的现状及发展趋势[J]. 节能与环保, 2010(4): 46-48. (Lü Bin. Present situation and development trend of solar energy air conditioning technology[J]. Energy Conservation and Environmental Protection, 2010(4): 46-48.)
- [8] 严建国. 太阳能空调系统的可行性研究[J]. 江苏科技信息, 2014(12): 1-2. (Yan Jianguo. Feasibility research of solar energy air conditioning system[J]. Jiangsu Science & Technology Information, 2014(12): 1-2.)
- [9] 郭初, 李志生, 曾涛. 两种新型太阳能吸收式制冷系统性能分析[J]. 制冷学报, 2014, 35(6): 76-80. (Guo Chu, Li Zhisheng, Zeng Tao. Performance of analysis on two new kinds of solar-absorption refrigeration system[J]. Journal of Refrigeration, 2014, 35(6): 76-80.)
- [10] 杜强, 麻凯恩. 太阳能光伏光热联合热泵系统研究[J]. 供热制冷, 2011(1): 66-67. (Du Qiang, Ma Kai'en. Photovoltaic thermal hybrid solar heat pump system [J]. Heating and Cooling, 2011(1): 66-67.)
- [11] Aguilar F J, Quiles P V, Simón A. Operation and energy efficiency of a hybrid air conditioner simultaneously connected to the grid and to photovoltaic panels[J]. Energy Procedia, 2014, 48: 768-777.
- [12] Keliang L, Jie J, Tin-tai C, et al. Performance study of a photovoltaic solar assisted heat pump with variable-frequency compressor-A case study in Tibet[J]. Renewable Energy, 2009, 34(12): 2680-2687.
- [13] 吕光昭, 李勇. 独立光伏空调系统的研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2012.
- [14] 吕光昭, 李勇, 代彦军, 等. 独立光伏空调系统冬季采暖性能分析[J]. 太阳能学报, 2013, 34(7): 1166-1171. (Lü Guangzhao, Li Yong, Dai Yanjun, et al. Analysis on the heating performance of photovoltaic air conditioning system[J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2013, 34(7): 1166-1171.)
- [15] 张岳同. 太阳能电池板综合测试研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012.
- [16] 李辉. 太阳能光伏并网逆变模块的研究[D]. 成都: 四川电子科技大学, 2009.

作者简介

金听祥,男,博士,副教授,郑州轻工业学院能源与动力工程学院,(0371) 63624381, E-mail: txjin@126.com。研究方向:制冷空调设备新技术研究。

About the author

Jin Tingxiang, male, Ph. D., associate professor, School of Energy & Power Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, +86 371-63624381, E-mail: txjin@126.com. Research fields: new techniques development for air-conditioning system.