

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2015.05.001

地源热泵 + 多联机温湿度独立调节系统能效分析

谭超毅^{1,2}, 胡海华^{1,2}, 张超³, 刘少杰^{1,2}

(1. 湖南工业大学 土木工程学院, 湖南 株洲 412007;

2. 湖南工业大学 协同创新中心, 湖南 株洲 412007;

3. 湖南株洲市住房与城乡建设局, 湖南 株洲 412007)

摘要: 对地源热泵 + 水冷多联机温湿度独立调节系统和地源热泵 + 风冷多联机温湿度独立调节系统 2 种方案的间歇运行方式和连续运行方式的综合能效比进行分析与计算, 结果表明: 潜热和新风负荷越小, 系统的综合能效比越高, 随着潜热和新风负荷的增大, 系统的综合能效比下降; 地源热泵 + 水冷多联机温湿度独立调节系统间歇运行方式比连续运行方式的综合能效比更高; 在实际工程中, 常见的地源热泵 + 水冷多联机温湿度独立调节系统比地源热泵 + 风冷多联机温湿度独立调节系统的综合能效比高近 1.4 倍; 地源热泵 + 风冷多联机温湿度独立调节系统中, 当潜热和新风负荷超过 40% 后, 不管是间歇运行方式还是连续运行方式, 其综合能效比都较接近, 说明该系统对运行方式要求不高。

关键词: 地源热泵; 水冷多联机; 风冷多联机; 温湿度独立调节系统; 综合能效比

中图分类号: TU831.3⁺7

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2015)05-0001-04

Analysis on Energy Efficiency of GSHP + VRV Independent Temperature and Humidity Control System

Tan Chaoyi^{1,2}, Hu Haihua^{1,2}, Zhang Chao³, Liu Shaojie^{1,2}

(1. School of Civil Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;

2. Collaborative Innovation Center, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;

3. Housing and Urban Construction Bureau of Zhuzhou City of Hunan, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract : Analyzes and calculates the comprehensive energy ratios of intermittent operating mode and continuous operating mode for independent temperature and humidity control systems of GSHP - water cooling VRV and GSHP - wind cooling VRV. The results show that: The smaller the latent heat and fresh air load, the higher the integrated energy efficiency ratio will be, with the latent heat and fresh air load increasing, the system integrated energy efficiency ratio decreased. The integrated energy efficiency ratio of intermittent operating mode is higher than that of continuous operating mode for GSHP-water cooling VRV system. In practical engineering, the integrated energy efficiency ratio of common GSHP - water cooling VRV independent control system is 1.4 times higher than that of GSHP- wind cooling VRV system. When the latent heat and fresh air load is over 40% in GSHP-wind cooling RVR system, the integrated energy efficiency ratios of intermittent operating mode and continuous operating mode are similar, indicating that the system has little demand in operating modes.

Keywords : ground-sourced heat pump; water cooling VRV; wind cooling VRV; independent temperature and humidity control system; integrated energy efficiency ratio

收稿日期: 2015-08-12

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划基金资助项目 (2011BAJ03B07), 湖南省科技厅基金资助项目 (S2014Z2063)

作者简介: 谭超毅 (1956-), 男, 湖南株洲人, 湖南工业大学教授, 主要从事建筑设备节能技术方面的教学与研究,

E-mail: tanchaoyi123@126.com

通信作者: 胡海华 (1991-), 男, 江西分宜人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为建筑设备节能技术,

E-mail: huhaihua2014@163.com

0 引言

由于传统空调方式存在能耗较高、难以满足室内空气热湿比的变化要求以及影响室内空气质量等问题,越来越多的学者和工程技术人员开始对温湿度独立调节系统进行研究与应用^[1-3]。温湿度独立调节系统可以将处理显热负荷的冷冻水温度从 7℃ 提高到 17℃,使冷水机组的性能系数提高 40% 以上,从而降低空调能耗 30% 以上^[4-7]。张海强等人利用 DeST 软件,分别计算了广州和北京 2 栋办公楼相同空调系统的能效比 (energy efficiency ratio, EER) 及能耗,结果表明,温湿度独立调节系统比常规空调系统节能 20%~30%^[8-10]。由此可见,温湿度独立调节系统能有效减少能耗、节约能源,因此,具有较好的市场应用前景。

水冷多联机系统是新一代变冷媒流量多联系统 (variable refrigerant volume, VRF),在我国的应用才刚刚起步,它既不同于传统的水源热泵、水环热泵空调系统,也不同于传统的风冷 VRF 系统^[11-12]。该系统集合了变制冷剂流量空调系统和水源 (环) 热泵空调系统二者的优点,通过高效换热器和中间介质循环水,可以利用低品位的地热能进行制冷供暖,具有能效高、机组性能稳定、设计与安装自由、能同时制冷制热等优势。地源热泵与水冷多联机系统的联合应用,在保持水冷多联机系统各种优势的同时,能够充分发挥土壤源水温比地表水温更低、更稳定的特点,这使得该联合系统能效更高。因此,地源热泵+水冷多联机系统将更广泛地被用户所采用。

本文将对地源热泵+水冷多联机温湿度独立调节系统 (方案 1) 和地源热泵+风冷多联机温湿度独立调节系统 (方案 2) 2 种方案的综合能效比进行计算分析,分析 2 种空调系统的能效特点并比较 2 种方案的综合能效比,以期对相关研究与技术应用提供理论参考。

1 方案 1 的综合能效比

为使问题简化,作如下假定:忽略不同方案因负荷变化对埋管系统的影响,即认为进出埋管系统的水温相同,并且不考虑热不平衡情况下系统辅助装置能效比及空调末端设备耗电量对 2 种方案综合能效比的影响。同时,设空调房间总负荷为 Q ,则有

$$Q = Q_1 + Q_2, \quad (1)$$

式中: Q_1 为空调房间的新风和潜热负荷, kW;

Q_2 为空调房间的显热负荷, kW。

方案 1 中,地源热泵的冷冻水全部用于消除空调房间的显热负荷,新风负荷和潜热负荷由地源水水冷多联机组承担;地源侧设循环水泵并在分水器支管上设水冷多联机循环水泵。

方案 1 的综合能效比为

$$EER_1 = \frac{Q}{N_{11} + N_{12} + N_{13} + N_{14} + N_{15}}, \quad (2)$$

式中: EER_1 为方案 1 的综合能效比;

N_{11} 为方案 1 水冷多联机的耗电功率, kW, 且 $N_{11} = Q_1 / COP_{11}$, $COP_{11} = T_{11} / (T_{n11} - T_{11})$, 其中, COP_{11} 为方案 1 水冷多联机的能效比, T_{11} , T_{n11} 分别为方案 1 水冷多联机的冷媒温度和冷凝温度, K;

N_{12} 为方案 1 地源热泵机组的耗电功率, kW, 且 $N_{12} = Q_2 / COP_{12}$, $COP_{12} = T_{12} / (T_{n12} - T_{12})$, 其中, COP_{12} 为方案 1 地源热泵机组的能效比, T_{12} 为方案 1 地源热泵机的冷冻水温度, K;

N_{13} 为方案 1 水冷多联机冷却水循环水泵耗电功率, kW, 且 $N_{13} = (9.8 \cdot Q_1 \cdot H_1) / (c \cdot \Delta t_1 \cdot \eta_1)$, 其中, H_1 为负荷侧资用压力, m H₂O, c 为水的比热容, kJ/(kg·K), Δt_1 为进出制冷机的循环水温降, K, η_1 为水泵的效率;

N_{14} 为方案 1 地源侧循环泵耗电功率, kW, 且 $N_{14} = (9.8 \cdot Q \cdot H_2) / (c \cdot \Delta t_1 \cdot \eta_1)$, 其中, H_2 为地源侧资用压力, m H₂O;

N_{15} 为方案 1 地源热泵冷冻水循环泵耗电功率, kW, 且 $N_{15} = (9.8 \cdot Q_2 \cdot H_1) / (c \cdot \Delta t_2 \cdot \eta_1)$, 其中, Δt_2 为进出末端设备的冷冻水温降, K。

2 方案 2 的综合能效比

方案 2 中,地源热泵承担空调房间的显热负荷,风冷多联机承担潜热和新风负荷。

方案 2 的综合能效比为

$$EER_2 = \frac{Q}{N_{21} + N_{22} + N_{23} + N_{24} + N_{25}}, \quad (3)$$

式中: EER_2 为方案 2 的综合能效比;

N_{21} 为方案 2 风冷多联机的耗电功率, kW, 且 $N_{21} = Q_1 / COP_{21}$, $COP_{21} = T_{21} / (T_{n21} - T_{21})$, 其中, COP_{21} 为方案 2 风冷多联机的能效比, T_{21} , T_{n21} 分别为方案 2 风冷多联机的冷媒温度和冷凝温度, K;

N_{22} 为方案 2 地源热泵机组的耗电功率, kW, 且 $N_{22} = Q_2 / COP_{22}$, $COP_{22} = T_{22} / (T_{n22} - T_{22})$, 其中, COP_{22} 为方案 2 地源热泵机组的能效比, T_{22} 为方案 2 地源热泵机的冷冻水温度, K;

N_{23} 为方案 2 风冷多联机风机耗电功率, kW, 且

$N_{23}=(3.6 \cdot Q_1 \cdot P)/(\rho \cdot c_p \cdot \Delta t_3 \cdot \eta_2)$, 其中, P 为风机风压, Pa, ρ 为空气密度, kg/m^3 , c_p 为空气定压比热容, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, Δt_3 为风冷多联机空气温升, K, η_2 为风机的效率;

N_{24} 为方案2地源侧循环泵耗电功率, kW, 且 $N_{24}=(9.8 \cdot Q_2 \cdot H_2)/(c \cdot \Delta t_1 \cdot \eta_1)$;

N_{25} 为方案2地源热泵冷冻水循环泵耗电功率, kW, 且 $N_{25}=(9.8 \cdot Q_2 \cdot H_1)/(c \cdot \Delta t_2 \cdot \eta_1)$ 。

3 2种方案的综合能效比对比分析

根据式(1)~(3), 分别计算 EER_1, EER_2 。计算时, 取 $Q=1\,000\text{ kW}$, $T_{11}=-3\text{ }^{\circ}\text{C}$; T_{n11} 为地源侧循环水温度 $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$, 参考文献[13]中的相关数据, 系统间歇运行时为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, 系统连续运行时为 $29\text{ }^{\circ}\text{C}$; 取 $T_{12}=T_{22}=17\text{ }^{\circ}\text{C}$; T_{n21} 为地源热泵冷冻水温度 $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{n21}=19\text{ }^{\circ}\text{C}$; H_1, H_2 均为 $20\text{ m H}_2\text{O}$; 参考文献[5]中的相关数据, 系统间歇运行时 $\Delta t_1=10\text{ }^{\circ}\text{C}$, 系统连续运行时 $\Delta t_1=6\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Delta t_2=6\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\eta_1=0.65$, $\eta_2=0.60$; $P=300\text{ Pa}$ 。

系统间歇运行及连续运行时的综合能效比曲线如图1~2所示。

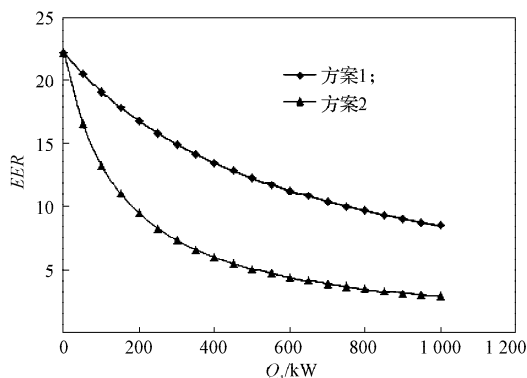


图1 系统间歇运行时综合能效比曲线

Fig. 1 The comprehensive energy efficiency ratio curve in intermittent operating

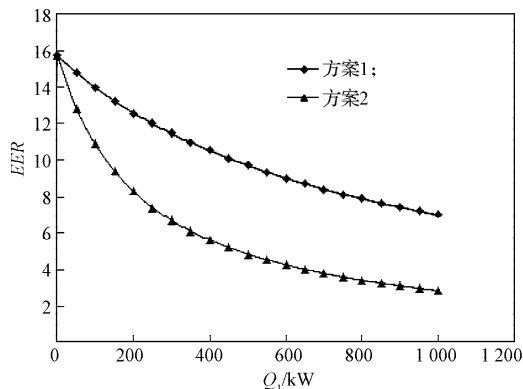


图2 系统连续运行时综合能效比曲线

Fig. 2 The comprehensive energy efficiency ratio curve in continuous operating

由图1~2分析可知:

1) 地源热泵+多联机温湿度独立调节系统, 其潜热和新风负荷越小, 综合能效比越高; 随着潜热和新风负荷增大, 系统综合能效比下降。工程中常见的潜热和新风负荷占50%。方案1的综合能效比为12.25, 方案2的综合能效比为5.07, 方案1比方案2高141.62%。由此可见, 方案1节能优势明显, 在工程实践中应优先考虑。

2) 方案1中, 间歇运行时的配置由系统变频装置根据设计温度与室内温度状况实时决定, 且此时系统综合能效比为12.25, 系统连续运行的综合能效比为9.695, 二者相差26.35%; 方案2中, 间歇运行时的配置同方案1, 且此时系统的综合能效比为5.07, 系统连续运行的综合能效比为4.84, 两者相差4.75%。由此可见, 地源热泵+多联机温湿度独立调节系统间歇运行方式比连续运行方式更节能, 尤其是方案1的间歇运行方式比连续运行方式节能优势更加明显。

3) 对于地源热泵+风冷多联机系统, 当潜热和新风负荷达40%时, 系统间歇运行比连续运行的综合能效比高6.7%; 当潜热和新风负荷达50%时, 系统间歇运行比连续运行的综合能效比高4.7%; 当潜热和新风负荷达60%时, 系统间歇运行比连续运行的综合能效比高3.2%; 当潜热和新风负荷达90%时, 系统间歇运行比连续运行的综合能效比仅高0.6%。由此可以得知, 地源热泵+风冷多联机系统对运行方式的要求不高。

4 结论

通过对地源热泵+水冷多联机温湿度独立调节系统和地源热泵+风冷多联机温湿度独立调节系统2种方案的能效分析与计算, 可以得出以下结论:

1) 潜热和新风负荷越小, 系统的综合能效比越高, 随着潜热和新风负荷的增大, 系统的综合能效比下降; 同时, 地源热泵+水冷多联机温湿度独立调节系统间歇运行方式比连续运行方式的节能优势更加明显。

2) 工程实践中宜采用将地源热泵机组的冷冻水全部用于消除空调房间的显热负荷, 且新风负荷和潜热负荷由地源水水冷多联机组来承担的方案。

3) 地源热泵+风冷多联机温湿度独立调节系统, 其综合能效比较低, 不管是间歇运行方式还是连续运行方式, 综合能效比都较接近, 对运行方式的要求不高。

参考文献:

- [1] 江 亿. 我国建筑耗能状况及有效的节能途径[J]. 暖通空调, 2005, 35(5): 30-40.
Jiang Yi. Current Building Energy Consumption in China and Effective Energy Efficiency Measures[J]. Heating Ventilating and Air Conditioning, 2005, 35(5): 30-40.
- [2] 胡海华, 王孟孟, 潘镇镇, 等. 计算露点温度控制下的地下室外墙保温设计[J]. 盐城工学院学报: 自然科学版, 2015, 28(1): 67-69.
Hu Haihua, Wang Mengmeng, Pan Zhenzhen, et al. Insulation Design of the Basement Exterior Wall in the Controlled of the Calculations of the Dew Point Temperature [J]. Journal of Yancheng Institute of Technology. Natural Science Edition, 2015, 28(1): 67-69.
- [3] 胡海华, 谭超毅, 王孟孟, 等. 地埋管热泵在湘东地区某图书馆应用的可行性分析[J]. 制冷, 2014, 33(4): 61-65.
Hu Haihua, Tan Chaoyi, Wang Mengmeng, et al. Feasibility Analysis of the Application of the Ground Source Heat Pump of a Library in Eastern Hunan[J]. Refrigeration, 2014, 33(4): 61-65.
- [4] 刘拴强, 刘晓华, 江 亿. 温湿度独立控制空调系统中独立新风系统的研究(1): 湿负荷计算[J]. 暖通空调, 2010, 40(1): 80-84.
Liu Shuanqiang, Liu Xiaohua, Jiang Yi. Dedicated Outdoor Air System in the THIC Air-Conditioning System (1): Calculation of Space Moisture Load[J]. Heating Ventilating and Air Conditioning, 2010, 40(1): 80-84.
- [5] 郝先栋, 罗寿平, 王从永. 并、串联连接混合式地源热泵比较[J]. 制冷与空调, 2009, 23(2): 42-45.
Hao Xiandong, Luo Shouping, Wang Congyong. The Comparison of Parallel and Series Connection's HGSHPs [J]. Refrigeration and Air Conditioning, 2009, 23(2): 42-45.
- [6] 花 莉, 范 蕊, 潘毅群, 等. 复合式地源热泵系统的回顾与发展[J]. 制冷与空调, 2011, 25(5): 518-525, 530.
Hua Li, Fan Rui, Pan Yiqun, et al. Review and Development of Hybrid Ground-Coupled Heat Pump System[J]. Refrigeration and Air Conditioning, 2011, 25(5): 518-525, 530.
- [7] 吴建波, 王 虹. 地源热泵复合系统热水机组实验研究[J]. 节能, 2008(10): 26-28.
Wu Jianbo, Wang Hong. Experimental Study on the Hot Water Unit of Composite Ground Source Heat Pump System [J]. Energy Conservation, 2008(10): 26-28.
- [8] 周邦宁. 集中空调用制冷(热)机组的选型原则[J]. 暖通空调, 1998, 28(3): 50-52.
Zhou Bangning. Specification of Heating and Chiller Units for Centralised Air Conditioning Systems[J]. Heating Ventilating and Air Conditioning, 1998, 28(3): 50-52.
- [9] 张海强, 刘晓华, 江 亿. 温湿度独立控制空调系统和常规空调系统的性能比较[J]. 暖通空调, 2011, 41(1): 48-52.
Zhang Haiqiang, Liu Xiaohua, Jiang Yi. Performance Comparison Between Temperature and Humidity Independent Control and Conventional Air Conditioning Systems[J]. Heating Ventilating and Air Conditioning, 2011, 41(1): 48-52.
- [10] 孙友宏, 仲崇梅, 王庆华. 中国地源热泵技术应用及进展[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(10): 30-34.
Sun Youhong, Zhong Chongmei, Wang Qinghua. Progress and Application of Ground Source Heat Pump Technology in China[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010, 37(10): 30-34.
- [11] 谭超毅, 王孟孟, 胡海华, 等. 神农大酒店地源热泵空调系统技术方案分析[J]. 湖南工业大学学报, 2014, 28(3): 1-5.
Tan Chaoyi, Wang Mengmeng, Hu Haihua, et al. Analysis on Technology Scheme of Ground-Source Heat Pump System in Shennong Hotel[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2014, 28(3): 1-5.
- [12] 位耀华, 李绪泉, 胡松涛, 等. 变水流量对水冷多联机系统运行性能影响的实验研究[J]. 建筑科学, 2012, 28(增刊1): 146-149.
Wei Yaohua, Li Xuquan, Hu Songtao, et al. Experimental Study on the Effect of Varying Water-Flow on the Water Cooled VRF System Operation Performance[J]. Building Science, 2012, 28(S1): 146-149.
- [13] 李 扬, 周亚素. 温湿度独立控制地源热泵系统地埋管温度性能分析[J]. 建筑节能, 2011, 39(2): 35-38.
Li Yang, Zhou Yasu. Borehole Analysis of Ground Source Heat Pump with Temperature and Humidity Independent Control[J]. Building Energy Efficiency, 2011, 39(2): 35-38.

(责任编辑: 徐海燕)