

上海某办公楼土壤源热泵系统冬季运行特性实测分析

李峥嵘¹, 傅 强¹, 钱必华², 刘递多¹

(1. 同济大学暖通空调及燃气研究所, 上海 200092; 2. 同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司, 上海 200092)

摘要: 通过对上海市某办公楼土壤源热泵系统冬季工况的长期监测, 分析了土壤源热泵系统在上海市办公类建筑下的长期运行特性。监测结果显示, 冬季工况下, 日均部分负荷率有 80% 的时间都处于 40%-80% 负荷率下, 40% 负荷率的时间最长, 占整个冬季工况的 23.3%。机组能效比为 3.8-6.7, 系统能效比为 1.9-4.7。能效比不仅受部分负荷率和埋管出水温度影响, 受用户侧出水温度影响也较大。因此基于建筑负荷, 合理设置机组和水泵开启台数及合理设置用户侧出水温度对土壤源热泵系统高效运行具有重要意义。

关键词: 长期监测; 能效比; 日均部分负荷率; 埋管出水温度; 用户侧出水温度

中图分类号: TU375.1

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2015)03-0413-05

Winter performance analysis for a ground-coupled heat pump system of an office building in Shanghai

LI Zhengrong¹, FU Qiang¹, QIAN Bihua², LIU Diduo¹

(1. HVAC and gas institute, School of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

2. Architectural design and research institute of Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Based on the work of on-site monitoring under winter condition, the long-term operation performance of an office building with ground-coupled heat pump system in Shanghai is analyzed. The result shows, during the monitoring period, the daily average partial load ratio (PLR) of the ground heat pump system was almost at 40%-80%, accounting for about 80% of the winter-time. And the value of PLR was mostly at 40%, about 23.2% of the winter-time; the unit daily performance factor (DPF) was between 3.8 and 6.7, and the system DPF was varying from 1.9 to 4.7. Furthermore, it is found that the DPF was affected by not only the PLR, but also by the user-side supply water temperature. Therefore, based on the building load, rational operation of unit and pump as well as rational setting of user-side supply water temperature are significant to the high operating performance of the ground-coupled heat pump system.

Key words: daily performance factor; partial load ratio; buried pipes outlet water temperature; user-side supply water temperature

目前地源热泵系统主要应用在北美、欧洲和中国, 据 2010 年世界地热大会统计数据, 截止 2009 年, 地源热泵的利用能量已达到 214 782 TJ/a, 与 2005 年世界地热大会的统计数据相比, 5 年内增长了 2.45 倍, 平均年增长率达到了 19.7%, 中国地源热泵总利用面积 2008 年为 6 200 万 m², 2009 年达到 10 070 万 m², 总利用功率约 5 210 MW^[1]。

近年来, 国家对于可再生能源的开发与利用逐渐重视, 并出台了一系列的法规政策, 在此背景下, 作为可再生能源利用的一种重要方式, 我国地源热泵 (尤其土壤源热泵) 产业的发展日益加快^[2]。国内学者对该系统运行特性的研究方法多以短期实测与长期模拟相结合为主^[3-10], 而国外相关研究很多都是基于全年监测数据或多年监测数据展开, 如 2010 年 T.Magraner 等人在西班牙巴伦西亚理工大学的土壤源热泵系统实验台进行全年实测, 研究系统长期运行特性^[11]; 2011 年 C.Montagud 等人对西班牙巴伦西亚理工大学的土壤源热泵系统实验台

运行 5 年的数据分析系统性能^[12]; 2011 年 Scott Hackel 和 Amanda Pertzborn 对美国三幢应用复合式地源热泵系统的建筑进行全年监测研究^[13]; 2012 年 Jin Taek Chung 和 Jong Min Choi 在韩国忠南一个 167 m² 的住宅建筑进行全年监测研究^[14]; 2013 年 A.Michopoulos 和 T.Zachariadis 对希腊北部一幢市政大楼的地源热泵系统进行全年监测研究^[15]。目前国内土壤源热泵的推广遇到很大问题^[16], 尤其缺少长期运行数据。基于这一问题, 本文通过对上海市某办公楼土壤源热泵系统供暖工况长期监测, 得到上海市办公类建筑土壤源热泵系统冬季的长期运行特性, 为土壤源热泵系统的设计和运行提供参考。

1 土壤源热泵系统的监测及分析方法

1.1 土壤源热泵系统及监测

1.1.1 系统介绍

研究对象为一幢位于上海市新江湾城的办公

楼,分为东楼和西楼,东楼地下一层、地上五层,西楼地下一层、地上四层.总建筑面积为 21 959 m²(其中地上部分 13 152 m²),建筑总高度为 23.95 m.建筑朝向为南偏东 29°.东向窗墙比为 0.67,南向为 0.61,西向为 0.33,北向为 0.66.空调冷热源为两台地源热泵主机(名义制冷量 1203.5kW,名义制热量 1204.4 kW)与三台辅助闭式冷却塔相结合的形式,地埋管按冬季热负荷设计,共设置垂直单 U 管 223 个,有效深度 100 m,孔径 150 mm,埋管间距 4.5 m×4.5 m,回填材料采用专用的土、砂混合物.用户侧循环水泵和地埋管侧循环水泵均为 2 用 1 备,型号为 WILO 的 NL150/315-37/4.冬夏季工况由管路阀门调控,夏季地埋管与冷却塔并联.末端设备采取空调箱与风机盘管,大堂和餐厅采用空调箱,办公室采用风机盘管加独立新风系统.

系统主机和水泵的启停由管理人员控制,正常开启时间为周一到周五,7:00-17:30.管理人员通过设定用户侧机组出水温度控制机组的运行.

冬季室内设计参数及典型日实测参数见表 1 所示,对比发现,只有会议室温度过高(设计参数为 19-21℃),其他参数均符合设计参数范围,说明该空调系统运行状况基本与设计工况相符合.

表 1 冬季室内设计参数与典型日实测参数
Tab.1 winter indoor design parameters and measured parameters on typical days

房间名称	冬季设计参数		冬季典型日实测参数	
	温度/℃	相对湿度/%	温度/℃	相对湿度/%
办公室	19-21	≥30	21.0	37.0
会议室	19-21	≥30	22.2	35.3
报告厅	18-20	/	21.3	32.2
门厅	16-18	/	16.0	39.7

1.1.2 监测系统

供暖工况监测参数为两台热泵机组的蒸发器和冷凝器进出口水温、地埋管回水温度、用户侧流量、地埋管侧流量、热泵机组小时电耗、循环水泵小时电耗.其中温度监测采用天建华仪 WZYW-1 温度记录仪,精度±0.3℃;地埋管侧流量采用超声波流量计典型日实测,精度±0.1m³/h;用户侧流量、热泵机组小时电耗和循环水泵小时电耗均采用 BA 系统数据库数据,其中用户测流量经过超声波流量计校核,误差在 5% 以内.监测时间为整个冬季工况,2013 年 11 月 11 日-2014 年 4 月 3 日.系统原理图及具体测点布置见图 1 所示.图 1 中箭头方向为冬季工况,冷却塔侧开关阀门冬季关闭.T 为壁温测点,V 为流量测点.

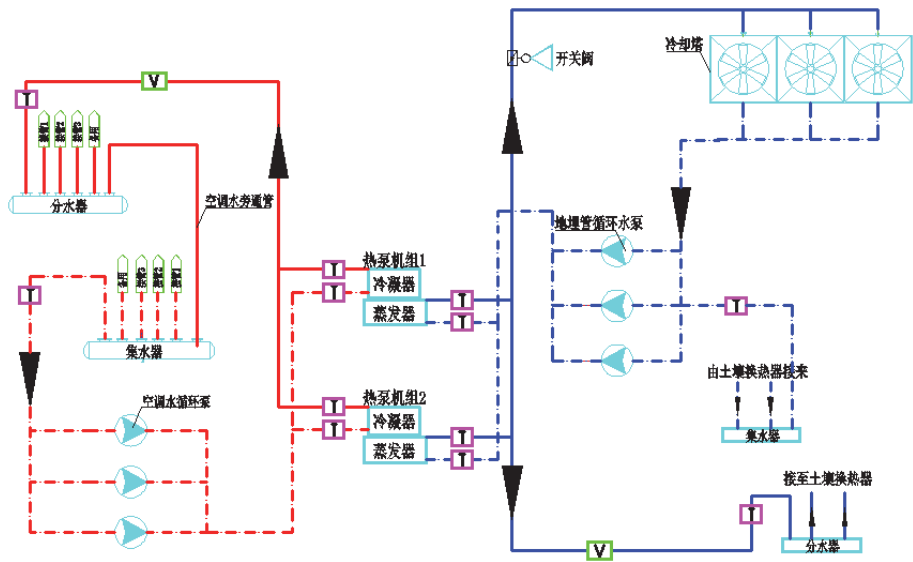


图 1 供暖工况测点布置图
Fig. 1 Schematic diagram of GSHP and measuring points

1.2 数据分析计算方法

壁温数据采集频率为 10 min,流量数据采集频率为 30 min,假设 30 min 内流量不变化,即可将壁温数据与流量数据建立联系.

1.2.1 负荷

①瞬时负荷

建筑瞬时负荷以用户侧流量和用户侧供回水

温度进行计算,10 min 计算一次:

$$\dot{Q} = c \rho \dot{V} (T_g - T_h) / 3\,600 \quad (1)$$

式中: \dot{Q} 为建筑瞬时负荷,kW; c 为水的比热容,kJ/(Kg·℃); ρ 为水的密度,kg/m³; \dot{V} 为用户侧体积流量,m³/h; T_g 为用户侧供水温度,℃; T_h 为用户侧回水温度,℃.

②小时负荷

建筑小时负荷由每 10 min 计算一次的建筑瞬时负荷累加得到:

$$Q_{\text{hour}} = \sum_{i=1}^6 \dot{Q} \quad (2)$$

式中: Q_{hour} 为建筑小时负荷, kWh.

③日均小时负荷

$$\bar{Q}_{\text{hour}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{hour}} / n \quad (3)$$

式中: \bar{Q}_{hour} 为建筑日均小时负荷, kWh; n 为系统一日开启小时数.

1.2.2 日均部分负荷率

日均部分负荷率为建筑日均小时负荷与机组小时名义制热量之比:

$$PLR = \sum_{i=1}^n \bar{Q}_{\text{hour}} / \sum_{i=1}^n Q_{\text{rated}} \quad (4)$$

式中: PLR 为日均部分负荷率; Q_{rated} 为热泵机组小时名义制热量, kWh, 当开启一台机组时, 为一台机组小时名义制热量, 开启两台机组时, 为两台机组小时名义制热量.

1.2.3 日均能效比

①机组日均能效比

$$DPF_1 = \sum_{i=1}^n Q_{\text{hour}} / \sum_{i=1}^n W_{\text{comp}} \quad (5)$$

式中: DPF_1 为机组日均能效比; W_{comp} 为机组小时功耗, kWh.

②系统日均能效比

$$DPF_2 = \sum_{i=1}^n Q_{\text{hour}} / (\sum_{i=1}^n W_{\text{comp}} + \sum_{i=1}^n W_{\text{pump}}) \quad (6)$$

式中: DPF_2 为系统日均能效比; W_{pump} 为用户侧和地埋管侧循环水泵小时功耗, kWh.

2 数据验证与分析

2.1 数据验证

为了验证监测方法和仪器的准确性, 以用户侧和地埋管侧的小时负荷值进行验证. 理论上, 如果忽略水泵散热量, 冬季工况下, 用户侧小时负荷应该等于地埋管侧小时取热量与机组小时电耗之和. 但在实测过程中, 由于种种因素, 二者之间会有偏差, 以 α 表示这种相对偏差, 结果见图2所示:

$$\alpha = (Q_{\text{soil-hour}} + W_{\text{comp-hour}} - Q_{\text{hour}}) / Q_{\text{hour}} \quad (7)$$

式中: Q_{hour} 为用户侧小时负荷, kWh; $Q_{\text{soil-hour}}$ 为地埋管侧小时取热量, kWh; $W_{\text{comp-hour}}$ 为机组小时

电耗, kWh.

结果显示, 整个冬季工况小时负荷值相对偏差在-10%~+15%, 属于正常误差范围, 故监测数据准确有效.

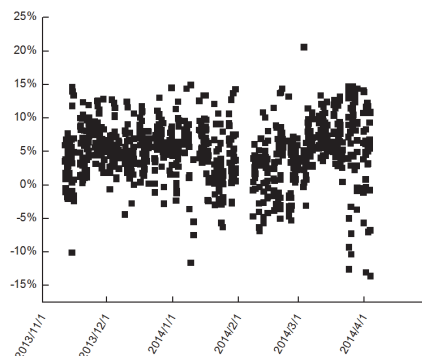


图2 小时负荷相对偏差 α

Fig.2 Hour load relative deviation α

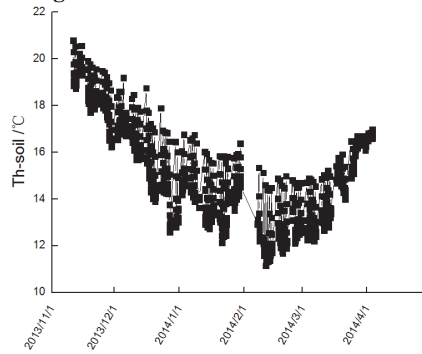


图3 地埋管出水温度

Fig.3 Outlet water temperature from buried pipes

2.2 数据分析

影响土壤源热泵系统性能的因素有很多, 如土壤温度、用户侧供水温度设置、部分负荷率等. 下面主要分析这几个因素对系统性能的影响.

2.2.1 地埋管出水温度

由于该系统施工时没有在地埋管上安装温度传感器, 得不到土壤温度, 故考虑采用地埋管出水温度表征地埋换热器换热效果^[12], 见图3所示. 图中2月初数据空白是由于春节长假, 系统未开启. 可以看出, 地埋管出水温度整个冬季变化趋势是先降低后升高, 在2月中旬开始回升. 在11月份地埋管出水温度日下降约 1.5°C, 随着部分负荷率的增加, 系统从土壤中取热量增加, 日降低温度也会增加, 至2月初, 日下降可达 2.5°C以上.

同时, 由于办公建筑间歇运行方式, 土壤温度恢复特性得到体现, 影响土壤温度恢复特性的因素有很多, 如土壤温度水平、建筑部分负荷率、室外空气温度、太阳辐射强度等, 此处以地埋管出水温度表征这一特性. 11月份地埋管出水温度在工作日经过一个夜晚的恢复可提升 1°C左右, 经过一个周末的恢复提升也在 1°C左右, 这是由于刚进入冬季

工况,土壤温度较高,土壤温度恢复能力得不到充分体现;12月份工作日恢复温度约 1.5°C ,周末温度恢复可达 2.5°C ;1月份工作日恢复温度约 1.5°C ,周末温度恢复约 2°C ,可能是由于室外空气温度比12月份更低,且太阳辐射强度也比12月份低,导致周末温度恢复略低于12月份;2月中旬工作日温度恢复约 2.5°C ,周末温度恢复高达 3°C ,这主要是由于这时土壤温度水平已经很低了,温度恢复能力很强。3月上旬工作日温度恢复为 1°C - 2°C ,周末温度恢复约 2°C ;3月底至4月初,温度恢复值很小,在 0.5°C 以下,这主要是由于部分负荷率很小,系统从土壤取热量很少,土壤温度变化受系统影响很小,主要受室外空气温度和太阳辐射强度的影响。

2.2.2 用户侧供水温度

用户侧供水温度由系统管理人员设定,见图4所示。11月到12月底,供水温度都设置在 38°C - 39°C ;从12月底至2月底,大多设置在 43°C - 44°C ,期间也有部分时间设置在 38°C - 39°C ;3月直至供暖季结束,设置在 39°C 左右。

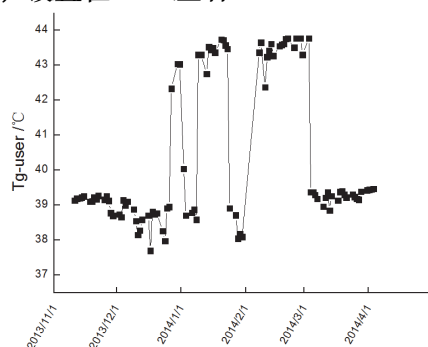


图4 用户侧供水温度

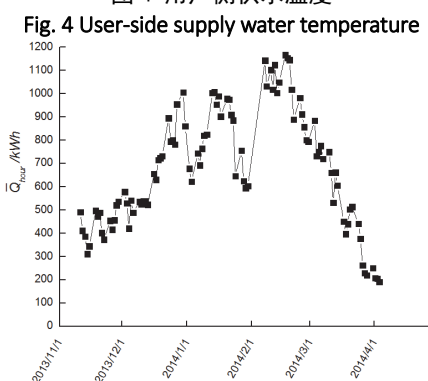


图5 日均小时负荷

Fig.5 Daily average hour load

2.2.3 日均小时负荷

由式(1)-式(3)计算得出,结果如图5所示,从供暖季开始到12月中旬,建筑日均小时负荷几乎都在500 kWh以下,12月中旬到3月初该值较大,在2月中旬达到约1150 kWh。但是在1月2日附近出现一个谷值,在1月底也出现一个谷值,这是由于元旦法定假日和春节法定假日,部分部门

上班人数较少,末端设备开启相对少,导致建筑负荷相对较小。

2.2.4 日均部分负荷率

由式(4)计算得出,结果如图6所示,由于冬季供暖工况下一般一台热泵机组就可以满足建筑负荷需求,故日均部分负荷率形式上与日均小时负荷大体相同。11月刚进入供暖季,日均部分负荷率较低,约为26%~45%;12月份日均部分负荷率逐渐增大,约为41%~74%;1月份波动较大,约为36%~81%,主要是由于1月9日、10日开启两台机组,由式(4)可知,这两天日均部分负荷率处于低值,分别为36%和40%,1月底的低值是由于部分部门上班人数较少,建筑负荷相对小;2月份日均部分负荷率较大,约为66%~96%,在2月18日开始降低;3月份逐渐降低,从月初74%降到月底18%;4月份只有前三天供暖,日均部分负荷率约为17%。

将部分负荷率以10%为间隔分成几个区间,将图6中不同部分负荷率的时间进行统计,结果见图7。40%负荷率的时间最长,占整个供暖工况的23.3%;其次为70%和80%负荷率,都为14.1%;同时看出,整个供暖季有约80%的时间都处于40%~80%负荷率下。

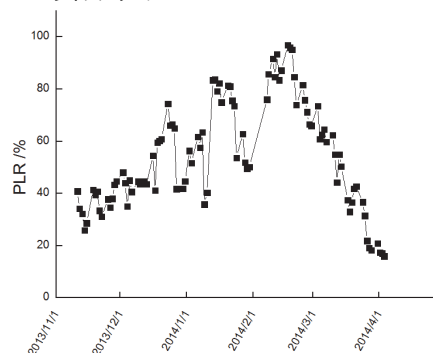


图6 日均部分负荷率

Fig.6 Daily average part load rate

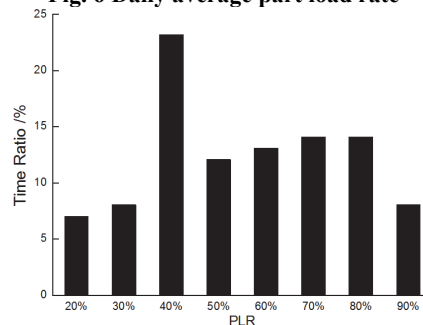


图7 不同部分负荷率的时间

Fig.7 Time ratio of different part load rate

2.2.3 日均能效比

机组日均能效比见图8所示。11月份和12月份由于部分负荷率较低,机组日均能效比也较小,

在4.1~5.3之间波动;1月份波动很大,为3.9~6.7,主要是因为1月9日、10日开启两台机组,导致部分负荷率较低,能效比较小,而且从图4可以看出,1月份用户侧供水温度设置波动很大,导致日均能效比随之波动;2月份为4.4~6.0,能效比逐渐降低;3月份为3.9~5.4;4月初为供暖季最后几天,部分负荷率也很低,而且相比与11月份,土壤温度更低,导致机组能效比很低,约为3.8~3.9.

系统日均能效比见图9所示.11月份为2.4~3.4;12月份为3.0~3.8;1月份大部分时间为3.5~4.3,1月9日、10日开启两台机组,导致部分负荷率较低,系统能效比较小,分别为2.8和3.3;2月份为3.5~4.7;3月份开始逐渐下降,从3.9降到2.0;4月初为1.9~2.0.

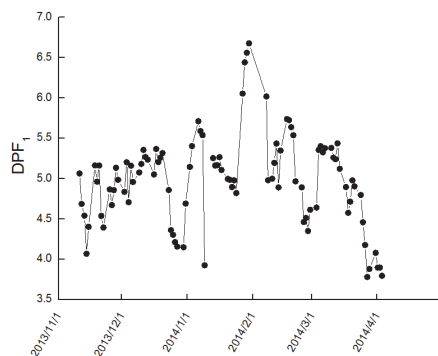


图8 机组日均能效比

Fig. 8 Daily average unit energy efficiency ratio

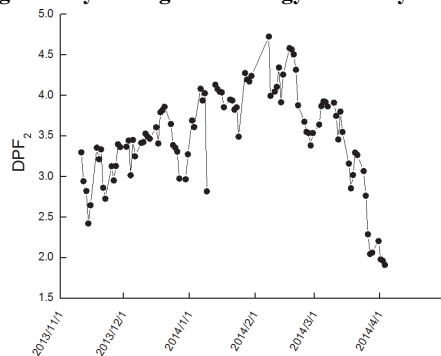


图9 系统日均能效比

Fig.9 Daily average system energy efficiency ratio

3 结论

本文基于对上海市某办公建筑土壤源热泵系统2013-2014年整个冬季供暖工况的长期监测,分析了上海市土壤源热泵系统冬季供暖工况的长期运行特性.主要结论如下:

(1)冬季工况下,地埋管回水温度先下降后有所回升,日下降温度最高可达2.5℃.工作日系统经过一个夜晚的间歇,地埋管回水温度可恢复约1℃~2.5℃,经过一个周末的间歇,可恢复约1℃~3℃.

(2)冬季工况下,日均部分负荷率有80%的时间都处于40%~80%负荷率下,40%负荷率的时间最长,占整个冬季工况的23.3%.因此,系统部分负荷率下的运行性能尤为重要.

(3)冬季工况下,机组能效比为3.8~6.7,系统能效比为1.9~4.7.而且能效比不仅受部分负荷率和地埋管出水温度影响,受用户侧出水温度影响也较大.因此基于建筑负荷,合理设置机组和水泵开启台数及合理设置用户侧出水温度对土壤源热泵系统高效运行具有重要意义.

参考文献 References

- [1] 郑克桢, 韩再生, 张振国. 中国地热的稳步产业化开发-2010年世界地热大会中国国家报告[J]. 地热能, 2010(3): 3-7.
ZHENG Keyan, HAN Zaisheng, ZHANG Zhenguo. The geothermal steadily industrialization development in China-China national report on the world geothermal conference in 2010[J]. Geothermal energy, 2010(3): 3-7.
- [2] YANG W, ZHOU J, XU W, et al. Current status of ground-source heat pumps in China[J]. Energy Policy, 2010, 38(1): 323-332.
- [3] 李元旦, 张旭. 土壤源热泵冬季工况启动特性的实验研究[J]. 暖通空调, 2001, 31(1): 17-20.
LI Yuandan, ZHANG Xu. Experimental research on started characteristic of ground-coupled heat pump in winter condition[J]. Heating Ventilation and Air Conditioning, 2001, 31(1): 17-20.
- [4] 赵军, 宋德坤, 李新国, 等. 埋地换热器放热工况的现场运行实验研究[J]. 太阳能学报, 2005, 26(2): 162-165.
ZHAO Jun, SONG Dekun, LI Xinguo, et al. Field operation experimental study of the buried heat exchanger in release heat condition[J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2005, 26(2): 162-20.
- [5] 王景刚, 李芳, 李恺渊. 辅助冷却复合式地源热泵系统运行控制策略研究[J]. 暖通空调, 2007, 37(12): 129-132.
WANG Jinggang, LI Fang, LI Kaiyuan. Research on auxiliary cooling hybrid ground source heat pump system operating control strategy[J]. Heating Ventilation and Air Conditioning, 2007, 37(12): 129-132.
- [6] 王华军, 赵军. 混合式地源热泵系统的运行控制策略研究[J]. 暖通空调, 2007, 37(9): 131-134.
WANG Huajun, ZHAO Jun. Research on hybrid ground source heat pump system operating control strategy[J]. Heating Ventilation and Air Conditioning, 2007, 37(9): 131-134.
- [7] 杨卫波, 施明恒, 陈振乾. 土壤源热泵夏季运行特性的实验研究[J]. 太阳能学报, 2007, 28(9): 1012-1016.
YANG Weibo, SHI Mingheng, CHEN Zhenqian. Experimental research on summer operating characteristic of ground-coupled heat pump[J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2007, 28(9): 1012-1016.

(下转第432页)

- [16] 张健, 周文和, 丁世文. 被动式太阳房供暖实验研究[J]. 太阳能学报, 2007, 28(8): 861-864.
ZHANG Jian, ZHOU Wenhe, DING Shiwen. Experimental study on heating of passive solar house[J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2007, 28(8): 861-864.
- [17] 王登甲, 刘艳峰, 刘加平, 等. 青藏高原地区 Trombe 墙式太阳房供暖性能测试分析[J]. 太阳能学报, 2013, 34(10): 1823-1828.
WANG Dengjia, LIU Yanfeng, LIU Jiaping, et al. Measuring study of heating performance of passive solar house with trombe wall in Qinghai-Tibet plateau[J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2013, 34(10): 1823-1828.
- [18] 陈明东, 史宇亮, 刘学兵. 附加阳光间型被动式太阳房供暖实验研究[J]. 太阳能学报, 2012, 33(6): 944-947.
CHEN Mingdong, SHI Yuliang, LIU Xuebing. Heating study of passive solar house with sunspace[J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2012, 33(6): 944-947.
- [19] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50495-2009 太阳能供热采暖工程技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. GB 50495-2009 Technical code for solar heating system[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009.
- [20] 郑瑞澄, 路宾, 李忠, 等. 太阳能供热采暖工程应用技术手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012, 344-346.
ZHENG Ruicheng, LU Bin, LI Zhong, et al. Technical handbook for solar heating[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012, 344-346.
- [21] 李元哲, 单明, 何端练. 太阳能主动式采暖实测与分析[J]. 太阳能学报, 2009, 30(7): 1469-1473.
LI Yuanzhe, SHAN Ming, HE Duanlian. Analysis and thinking of active solar heating house[J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2009, 30(7): 1469-1473.
- [22] 刘艳峰, 鱼亚丽, 孔丹. 西北地区居住建筑太阳能采暖保证率[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2011, 43(2): 272-276.
LIU Yanfeng, YU Yali, KONG Dan. Solar fraction of residential building in north-west China[J]. J Xi'an Univ. of Arch. & Tech.: Natural Science Edition, 2011, 43(2): 272-276.

(编辑 桂智刚)

(上接第 417 页)

- [8] 孙爱国, 梁路军. 水源热泵机组地下水变流量运行特性研究[J]. 暖通空调, 2010, 40(11): 83-85.
SUN Aiguo, LIANG Lujun. Research on groundwater variable flow operationing characteristics of water source heat pump unit[J]. Heating Ventilation and Air Conditioning, 2010, 40(11): 83-85.
- [9] 余延顺, 马娟. 负荷分布对地源热泵系统长期运行特性的影响[J]. 南京理工大学学报: 自然科学版, 2011, 35(2): 155-159.
YU Shunyan, MA Juan. Effect of Load distribution on long period operating characteristics of ground source heat pump system[J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology: Natural Science, 2011, 35(2): 155-159.
- [10] 刘逸, 李炳熙, 付忠斌, 等. 寒冷地区土壤源热泵系统供暖运行特性研究[J]. 太阳能学报, 2012, 10: 025.
LIU Yi, LI Bingxi, FU Zhongbin, et al. Research on heating operation characteristics of ground-coupled heat pump in cold region[J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2012, 10: 025.
- [11] MAGRANER T, MONTERO Á, QUILIS S, et al. Comparison between design and actual energy performance of a HVAC-ground coupled heat pump system in cooling and heating operation[J]. Energy and buildings, 2010, 42(9): 1394-1401.
- [12] MONTAGUD C, CORBERAN J M, MONTERO A, et al. Analysis of the energy performance of a ground source heat pump system after five years of operation[J]. Energy and Buildings, 2011, 43(12): 3618-3626.
- [13] HACKEL S, PERTZBORN A. Effective design and operation of hybrid ground-source heat pumps: Three case studies[J]. Energy and Buildings, 2011, 43(12): 3497-3504.
- [14] CHUNG J T, CHOI J M. Design and performance study of the ground-coupled heat pump system with an operating parameter[J]. Renewable Energy, 2012, 42: 118-124.
- [15] MICHPOPOULOS A, ZACHARIADIS T, KYRIAKIS N. Operation characteristics and experience of a ground source heat pump system with a vertical ground heat exchanger[J]. Energy, 2013, 51: 349-357.
- [16] MING L, QING G, YAN J, et al. The big challenge of ground source heat pumps (GSHPs) application in China[C]//Intelligent System Design and Engineering Application (ISDEA), 2010 International Conference on. IEEE, 2010, 2: 594-597.

(编辑 吴海西)