

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2016.04.006



冬季稳定人工环境实验室内温度的新方法

王喜良, 张冷, 罗勇强, 谢磊, 吴静, 徐秀, 吕晓慧

(湖南大学 土木工程学院, 长沙 410082)

摘要:人工环境实验室对温度的控制精度低于工艺性环境要求,但冬季若采用分体式空调制热模式控制,实验室温度的波动范围过大,影响采集实验数据的准确性。提出冬季采用空调制冷模式联合电取暖器稳定人工环境实验室内温度的新方法,在背景实验中将新方法和传统空调制热温度控制方法进行对比,结果表明:采用新方法能大幅度提高人工环境实验房间温度的稳定性。为对新方法中空调的设定制冷温度与电取暖器功率匹配问题做进一步研究而进行探究试验,实验结果表明:空调制冷量 Q_1 、测试房间热负荷 Q_2 、电取暖器功率 Q_3 和测试房间其他设备功率 Q_4 存在匹配关系,当空调设定温度相同时, $|Q_1+Q_2-Q_3-Q_4|$ 值越小,人工环境实验室内温度波动频率越稳定,振幅越小。

关键词:温度控制;空调制冷模式;电取暖器;匹配;冬季工况

中图分类号: TU831.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-4764(2016)04-0033-06

A method of stabilizing temperatures in artificial environment experiment chamber in winter conditions

Wang Xiliang, Zhang Ling, Luo Yongqiang, Xie Lei, Wu Jing, Xu Xiu, Lyu Xiaohui

(School of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, P. R. China)

Abstract: The temperature control precision demand in artificial environment experiment chamber was lower than the demand in technical environment. If the heating mode of split air conditioner was adopted to control temperatures in chamber in winter conditions, the fluctuation scale of the temperatures in the chamber was too large, which affected the accuracy of data recording. A new method was proposed to stabilize temperatures in artificial environment experiment chamber in winter conditions combing cooling mode of the split air conditioner with an electric heater. In the background experiment, the new method and the control method of heating mode of traditional air conditioning were compared and the results showed that the new method could greatly improve the temperatures stability in the artificial environment experiment chamber. A series of additional experiments were implemented to further study the relationship between the temperature setting of air conditioner in cooling mode and the power of heater. The experimental results showed that there was a matching relation among the cooling capacity of air

收稿日期: 2016-05-27

基金项目: 国家自然科学基金(51578221)

作者简介: 王喜良(1991-),男,主要从事太阳能光伏建筑一体化研究,(E-mail) wangxiliang111@126.com。

张冷(通信作者),女,教授,博士生导师,(E-mail) lingzhang@hnu.edu.cn。

Received: 2016-05-27

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 51578221)

Author brief: Wang Xiliang (1991-), main research interests: building integrated solar photovoltaics, (E-mail) wangxiliang111@126.com.

Zhang Ling(corresponding author), professor, doctoral supervisor, (E-mail) lingzhang@hnu.edu.cn.

conditioner Q_1 , heating load of the testing room Q_2 , power of electric heater Q_3 , and the power of other equipment in the testing room Q_4 . The air temperature fluctuation in artificial environment experiment chamber was more stable and smaller, when the absolute value of $Q_1 + Q_2 - Q_3 - Q_4$ was lower under the same setting temperature of air conditioner in cooling mode.

Keywords: temperature control; cooling mode of air conditioning; heater; match; winter conditions

随着社会的发展和人民居住条件的不断提高,建筑能耗急剧增长。据统计,2011 建筑能耗占总能耗的 27.5%^[1]。随着城市化程度的不断提高,建筑能耗的比例将继续提高,估计这一比例到 2020 年将提高到 35%。如何降低建筑能源消耗,提高能源利用效率,实施建筑节能,是可持续发展亟待研究解决的重大课题^[2-3]。专家学者纷纷投入到建筑节能新技术研究中^[4-8],一般通过搭建人工环境实验室进行实验研究。陈友明等^[9]、Zhou 等^[10]通过搭建人工环境实验室对夏热冬冷地区通风式双层皮幕墙 VDSF(ventilated double skin facades)自然通风实验研究与优化进行实验研究;Diaconu 等^[11]通过搭建人工环境实验室对双层定型相变墙体的房间进行了全年运行能耗分析研究;柳鹏鹏等^[12]通过搭建人工环境实验室对一种新型双层定型相变墙体节能效果分析进行实验研究;李安邦等^[13]通过搭建人工环境实验室对内嵌管式辐射地板的频域热特性分析进行实验研究。一般在人工环境实验室内进行实验需要控制房间温度在一定范围内,在夏季,分体式空调制冷模式可以将人工环境实验室温度的波动范围控制在较小范围内,但是在冬季,采用分体式空调控制时,其温度控制原理为单片机通过温度传感器采集温度数据^[14],对人工环境实验室内的温度进行调节。由于冬季人们衣着较保暖,对温度小范围变化感知不敏感,同时,为防止压缩机频繁开启,系统设定的温度范围较大,导致人工环境实验室温度波动范围较大,影响实验数据采集的准确性。在夏季和冬季,虽然精密空调可以将人工环境实验室温度的波动范围控制在较小范围内,但其价格昂贵。

不管采用何种控制方法以及控制器均不能将室内空气温度控制为绝对稳定,室内空气温度曲线必定是一条具有一定振幅和频率的波动曲线,而衡量一个控制室内温度稳定方法优劣的标准应该是振幅较小且频率稳定。在冬季,为控制人工环境实验室内温度稳定,提出冬季稳定人工环境实验室内温度的新方法,采用空凋制冷模式联合电取暖器控制人工环境实验室内温度稳定,新方法操作方便成本低,

易于实现,实验房间温度稳定性较好。

1 实验测试系统

1.1 实验平台简介

实验房间位于为湖南大学除尘楼四楼楼顶,房间外部尺寸为 2.6 m×2.6 m×2.6 m,内部尺寸为 2 m×2 m×2 m,测试房间如图 1 所示。实验系统包括:电脑、温度传感器、无纸记录仪,分体壁挂式家用空调器一台,室内机尺寸 0.21 m×0.745 m×0.25 m,室外机尺寸 0.32 m×0.818 m×0.54 m,能效为二级,制冷量为 3 200 W,制冷功率为 1 100 W,制热功率为 1 900 W、两台低档位功率为 400 W,高档位功率为 800 W 的电取暖器两台,其他设备散热功率之和为 100 W。



图 1 测试房间

Fig. 1 The testing room

温度传感器测点布置如图 2 和表 1 所示,型号为 PT100,精度为 0.3,测试之前进行误差校正。温度传感器上包裹一层锡箔纸,防止辐射对测点温度产生影响。

表 1 温度测点编号

Table 1 The order of temperature measuring points

编号	测点	编号	测点
a	室内地面温度测点	f	室内空调箱体温度测点
b	室内空气温度下测点	g	空调进风口温度测点
c	室内空气温度上测点	h	室内屋顶温度测点
d	室内东墙温度测点	i	室内西面墙温度测点
e	空调出风口温度测点	j	室外空气温度测点

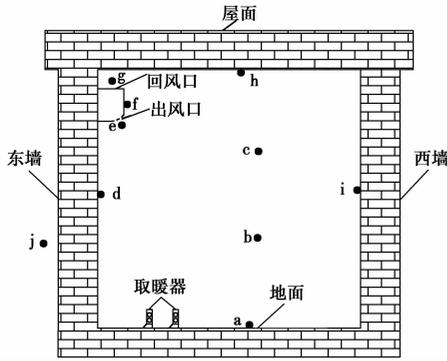


图 2 温度测点的布置

Fig. 2 Arrangement of temperature measuring points

1.2 房间负荷计算

首先计算房间最大热负荷,因出现在夜晚,无朝向修正率,富余系数取为 1.2,围护结构的传热系数根据实用供热空调设计手册^[15]确定。围护结构的基本耗热量计算公式如下:

$$Q_j = A_j K_j (t_R - t_{o,w}) \alpha \quad (1)$$

式中: Q_j 为 j 部分围护结构的基本耗热量, W; A_j 为 j 部分围护结构的表面积, m^2 ; K_j 为 j 部分围护结构的传热系数, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$; t_R 为冬季室内计算温度, $^\circ C$; $T_{o,w}$ 为采暖室外计算温度, $^\circ C$; α 为围护结构的温度修正系数(北外窗为 0.9,其余均为 1)。

围护结构的传热系数和面积列于表 2。

表 2 各围护结构的传热系数和面积

Table 2 The heat transfer coefficient and area of each building envelope

围护结构	传热系数/ $(W \cdot (m^2 \cdot ^\circ C)^{-1})$	面积/ m^2
外墙	1.97	14.6
屋顶	2.41	4
南外窗	2.09	1
北外窗	4.97	4
地面	1.18	4

首先计算出各种不同组合下的房间最大热负荷,将计算参数代入公式(1),并将结果列于表 3。

表 3 不同试验的工作模式与房间最大热负荷

Table 3 The working modes of different tests and the maximum room heat load

工作模式	空调模式	空调设定温度/ $^\circ C$	电取暖器功率/W	室外最低温度/ $^\circ C$	热负荷/W
实验 A	制冷	18	800	9	681.5
实验 B	制冷	18	1 200	11	530
实验 C	制冷	18	1 600	11	530
实验 D	制热	18	0	11	530
实验 E	制冷	16	800	12	302.9
实验 F	制冷	16	1 200	12	302.9
实验 G	制冷	16	1 600	10	454.4

2 背景实验

分别在 2016-03-15 和 2016-03-16 进行实验,这两天天气条件相近,室外温度分别为 $11 \sim 15 \text{ }^\circ C$ 和 $11 \sim 16 \text{ }^\circ C$,测试时间为早晨 9:35 到次日早晨 8:00,第 1 天采用新方法进行实验 B,第 2 天采用传统方法进行实验 D,无纸记录仪记录时间间隔为 5 min。限于篇幅,仅对室内、屋面、空调进风口、空调出风口和东面墙体温度变化进行分析。

图 3 为空调制冷联合电取暖器和空调制热两种实验条件下室内温度逐时变化规律。室内空气温度有测点 b 和 c,取两个测点的平均值作为室内空气温度。由图 3 可知,当空调为制热模式,空调温度设定 $18 \text{ }^\circ C$,温度的最大值与最小值相差 $10 \text{ }^\circ C$,波动幅度较大并且波动频率也不稳定。从曲线可以看出,上端点分布稀疏,下端点分布密集,因室内外温差较大,向室外传递的热量较多,温度下降较快,点分布稀疏;随着室内空气温度不断降低导致室内外温差变小,传递的热量不断减少,室内空气温度降低较慢,下部点就较密集。当空调为制冷模式温度设定 $18 \text{ }^\circ C$ 联合功率为 1 200 W 电取暖器时,室内空气温度最大值与最小值相差为 $5 \text{ }^\circ C$,波动频率较为稳定。空调温度传感器值达到设定值时,空调开始制冷,低于空调温度传感器设定值时空调关闭。电取暖器始终处于开启状态,室内空气温度不断升高,再次达到设定值时,空调重新开启工作,如此不断循环工作。

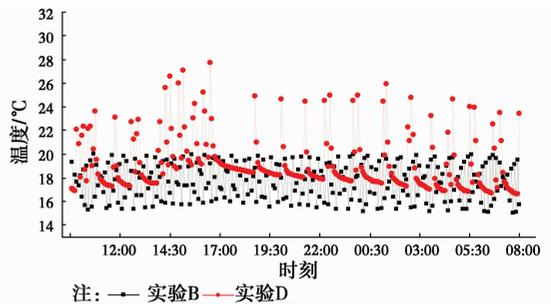


图 3 实验 B 和实验 D 条件下室内空气温度逐时变化规律
Fig. 3 The hourly variation of the experiment chamber air temperature in experiment B and experiment D

图 4、图 5 分别为屋面以及室内东墙温度逐时变化规律。由图 4 和图 5 可知,空调为制热模式时,屋面以及室内东墙温度波动幅度比空调为制冷模式联合电取暖器时大。空调制热模式时,从 13:00 后随着室外温度不断升高,屋面和东外墙的温度有明显的提高;空调制冷模式联合电取暖器时,屋面和东

墙的温度随室外温度升高略有升高。说明空调为制热模式时,室外温度变化对屋顶和墙面的影响比采用新方法时大。

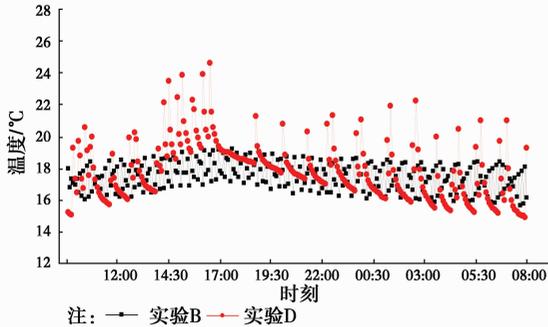


图 4 实验 B 和实验 D 条件下屋面温度逐时变化规律
Fig. 4 The hourly variation of the roof temperature in experiment B and experiment D

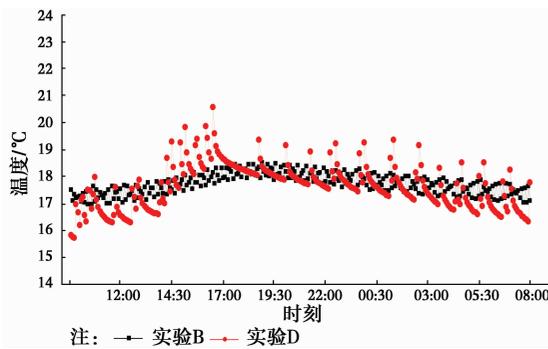


图 5 实验 B 和实验 D 条件下东墙温度逐时变化规律
Fig. 5 The hourly variation of the east wall temperature in experiment B and experiment D

图 6、图 7 分别为空调回、出风口处温度逐时变化规律。空调为制热模式时,回、出风口的温度波动范围较大且振幅不稳定。随着室外温度的不断升高,空调回风口和出风口温度有所升高,但升高幅度不大。采用新方法时空调回风口和出风口的温度自始至终波动较为稳定,几乎不受室外温度的变化影响。

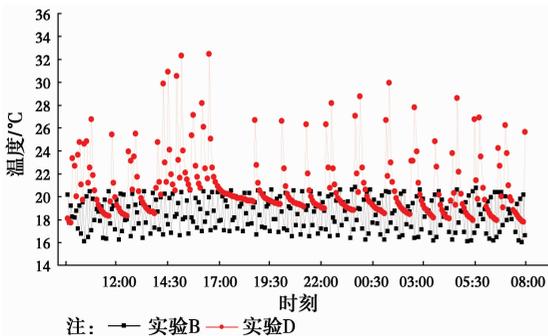


图 6 实验 B 和实验 D 条件下空调回风口温度逐时变化规律
Fig. 6 The hourly variation of the air conditioning air return temperature in experiment B and experiment D

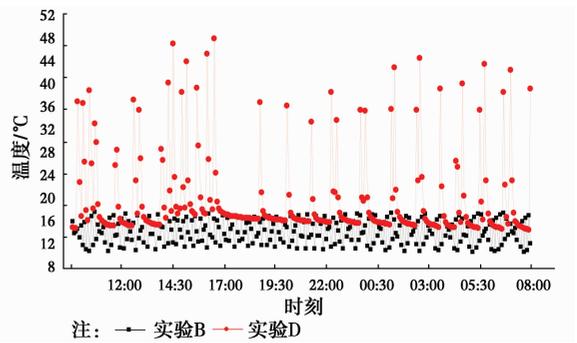


图 7 实验 B 和实验 D 条件下空调出风口温度逐时变化规律
Fig. 7 The hourly variation of the air conditioning outlet temperature in experiment D and experiment B

由图 3~7 可以看出,由室内空气、屋面、空调进风口、空调出风口和室内东墙温度的对比,将温度波动列于表 4。

表 4 实验 B 和实验 D 中不同测点温度最大值与最小值的差值

Table 4 The difference values between the maximum and minimum of different measuring points in experimental B and experimental D

工作模式	室内温度波动范围/°C	屋面温度波动范围/°C	进风口温度波动范围/°C	出风口温度波动范围/°C	室内东墙温度波动范围/°C
实验 B	5	3	5	5.5	1.5
实验 D	10	10	14	28.5	5.0

由表 4 可知,在空调制冷模式联合电取暖器控制和空调制热工作模式下,通过对室内空气温度、屋面温度、回风口温度、进风口温度和室内东墙温度进行比较得到:采用新方法控制实验房间温度明显优于传统的空调制热控制,使温度的波动范围小,频率更稳定。

3 探究试验

为进一步探究空调制冷模式联合电取暖器的最佳匹配控制方案,在背景实验的基础上,采用新方法进行实验 A、实验 C、实验 E、实验 F 和实验 G。实验测得空调进风口、出风口、室外空气、地面、屋顶、室内南外墙和室内空气温度,仅对室内空气温度进行处理分析。

图 8 中 3 种实验空调均为制冷模式,温度均设定 18 °C,实验 A 电取暖器功率为 800 W、实验 B 为 1 200 W 和实验 C 为 1 600 W。实验 A 从下午 14:30 到晚上 8:00 之间,点分布在上端与下端,因室内

外温差较小,传热较少,室内温度升高和降低的频率较快。实验 B 中温度的波动频率较为稳定,但是温度波动的幅度较大。实验 C 中室内空气温度的波动很稳定,因电取暖器的功率比较大,室内温度上升快,空调频繁开启,波动范围较小。中午 12:30 到下午 5:30 之间室内温度略有上升是室内向室外传热减少的因素。

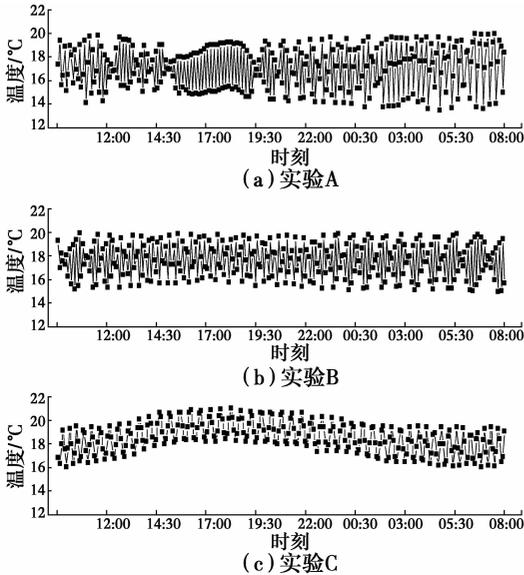


图 8 实验 A、B 和 C 条件下室内空气温度逐时变化规律
Fig. 8 The hourly variation of the experiment chamber air temperature in experiment A, B and C

图 9 中 3 种实验中空调均为制冷模式,温度均

设定 16 °C, E 实验电取暖器功率为 800 W、F 实验电取暖器功率为 1 200 W 和 G 实验电取暖器功率为 1 600 W。E 实验中室内空气温度的振幅和频率均不稳定。F 实验中室内空气温度自始至终温度的波动都较为稳定,波动范围为 14.5~18 °C。实验 G 中看出室内空气温度的波动为 15~17.5 °C,频率稳定且振幅均匀,此种匹配下温度控制最为理想。

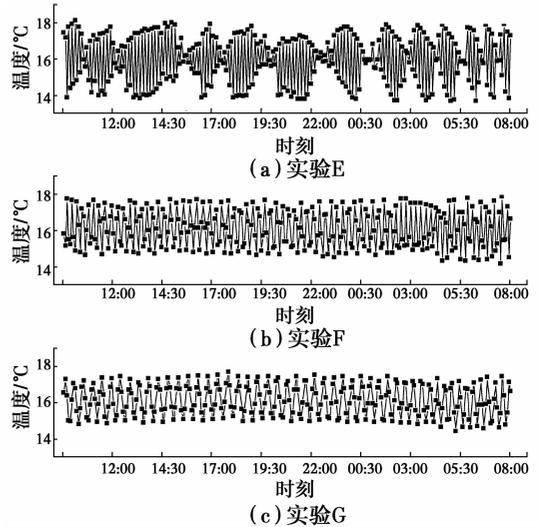


图 9 实验 E、F 和 G 条件下室内空气温度逐时变化规律
Fig. 9 The hourly variation of the experiment chamber air temperature in experiment E, F and G

将不同实验工作模式下对应的各种负荷及相应的室内空气温度波动列于表 5。

表 5 不同实验工作模式下对应的各种负荷及相应的室内空气温度最大值与最小值的差值
Table 5 Various load and the corresponding indoor air temperature difference values of between the maximum and minimum in different experimental working modes

工作模式	空调制冷量 Q_1/W	测试房间热负荷 Q_2/W	电取暖器功率 Q_3/W	测试房间其他设备功率 Q_4/W	$ Q_1 + Q_2 - Q_3 - Q_4 /W$	房间空气温度的波动范围/ $^{\circ}C$
实验 A	3 200	681.5	800	100	2 981.5	7
实验 B	3 200	530	1 200	100	2 430	5
实验 C	3 200	530	1 600	100	2 030	3.5
实验 E	3 200	302.9	800	100	2 602.9	4
实验 F	3 200	302.9	1 200	100	2 203	3.5
实验 G	3 200	454.4	1 600	100	1 954.3	2.5

当空调设定为 18 °C 时,电取暖器功率分别为 800、1 200、1 600 W, $|Q_1 + Q_2 - Q_3 - Q_4|$ 对应的值分别为 2 981.5、2 430、2 030 W, 此时室内温度的波动范围为 7、5、3.5 °C。可以看出随着 $|Q_1 + Q_2 - Q_3 - Q_4|$ 不断减小,室内空气温度的波动逐渐变小。当空调温度设定为 16 °C,电取暖器功率分别为 800、1 200、1 600 W 时,室内空气温度的波动也呈现

上述规律。当空调为制冷温度设为 16 °C、电取暖器功率为 1 600 W 时,室内温度波动频率稳定,振幅最小仅 2.5 °C。

4 结 论

提出冬季稳定人工环境实验室内温度的新方法,即空调为制冷模式联合电取暖器控制。主要结

论如下:

1) 在冬季采用新方法控制人工环境实验室内的温度时,室内空气温度波动范围小,频率稳定,控制效果较为理想,而且操作简单,易于实现。

2) 在 6 组对比试验中,采用新方法时,当空调为制冷模式、温度设定 16 °C,电取暖器功率 1 600 W 时,人工环境实验室内空气温度波动频率稳定,振幅最小仅为 2.5 °C。

3) 空调制冷量 Q_1 、测试房间热负荷 Q_2 、电取暖器功率 Q_3 和测试房间其他设备功率 Q_4 存在匹配关系,当空调设定温度相同时, $|Q_1 + Q_2 - Q_3 - Q_4|$ 值越小,人工环境实验室内温度波动频率越稳定,振幅越小。

参考文献:

- [1] DING Y, TIAN Z, WU Y, et al. Achievements and suggestions of heat metering and energy efficiency retrofit for existing residential buildings in northern heating regions of China [J]. Energy Policy, 2011, 39: 4675-4682.
- [2] GENG G, WANG Z, ZHAO J, et al. Suitability assessment of building energy saving technologies for office buildings in cold areas of China based on an assessment framework [J]. Energy Conversion & Management, 2015, 103(1): 650-664.
- [3] LIU W, ZHANG J, BLUEMLING B, et al. Public participation in energy saving retrofitting of residential buildings in China [J]. Applied Energy, 2015, 147: 287-296.
- [4] 黄德中,沈吉宝. 建筑节能技术综述[J]. 太阳能学报, 2007(6): 682-688.
HUANG D Z, SHEN J B. The energy saving of buildings [J]. Acta Energlae Solaris Sinica, 2007(6): 682-688. (in Chinese)
- [5] 郝馨颖,徐睿,汪若江,等. 建筑电气在住宅节能设计中的应用[J]. 电子测试, 2016(5): 171-172.
HAO X Y, XU R, WANG R J, et al. Application of building electricity in energy saving design of residential buildings [J]. Electronic Test, 2016(5): 171-172. (in Chinese)
- [6] ZHOU S Y, ZHAO J. Optimum combinations of building envelop energy-saving technologies for office buildings in different climatic regions of China [J]. Energy and Buildings, 2013, 57: 103-109.
- [7] HAO S J, ZHAO Q. Virtual simulation technology research of energy saving building [J]. Information Technology Journal, 2013, 12(23): 7922-7925.
- [8] KONG X F, LU S L, WU Y. A review of building energy efficiency in China during Eleventh Five-year Plan period [J]. Energy Policy, 2012, 41: 624-635.
- [9] 陈友明,高丽慧,王衍金,等. 夏热冬冷地区 VDSF 自然通风实验研究与优化[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2015, 42(5): 120-125.
CHEN Y M, GAO L H, WANG Y J, et al. Experimental research and optimization of natural ventilation for VDSF in zones hot in summer and cold in winter [J]. Journal of Hunan University (Natural Science), 2015, 42(5): 120-125. (in Chinese)
- [10] ZHOU J, CHEN Y. A review on applying ventilated double-skin facade to buildings in hot-summer and cold-winter zone in China [J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2010, 14(4): 1321-1328.
- [11] DIACONU B M. Novel concept of composite phase change material wall system for year-round thermal energy savings [J]. Energy & Buildings, 2010, 10(10): 1759-1772.
- [12] 柳鹏鹏,朱娜,胡平放,等. 一种新型双层定型相变墙体节能效果分析[J]. 建筑科学, 2015, 31(8): 72-79.
LIU P P, ZHU N, HU P F, et al. Study on energy saving effect of a novel double shape-stabilized phase change material wallboard [J]. Building Science, 2015, 31(8): 72-79. (in Chinese)
- [13] 李安邦,徐新华. 内嵌管式辐射地板的频域热特性分析[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2015, 42(1): 115-119.
LI A B, XU X H. Study of the frequency thermal characteristics of pipe-embedded radiant floors [J]. Journal of Hunan University (Natural Science), 2015, 42(1): 115-119. (in Chinese)
- [14] JUN L, XIAN L M, WEN L S. Intelligent temperature control system design based on single-chip microcomputer [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2014(3): 91-94.
- [15] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册 [M]. 2 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
LU Y Q. Practical heating and air conditioning design handbook [M]. 2nd edition. Beijing: China Architecture & Building Press. (in Chinese)