

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2015.S0.007

# 基于 Energyplus 的附加阳光间式太阳房节能分析

张国艳<sup>1</sup>, 丁 昀<sup>1</sup>, 杨 庆<sup>1</sup>, 吕雪涛<sup>2</sup>, 刘延琪<sup>1</sup>

(1. 兰州交通大学 环境与市政工程学院, 兰州 730070;

2. 中土集团福州勘察设计研究院有限公司, 福建 福州 360001)

**摘 要:** 本文将内蒙地区的站区公寓改造为附加阳光间式太阳房, 通过动态模拟软件的计算, 对模拟结果进行评价, 同时对附加阳光间的经济性进行计算。结果表明附加阳光间式太阳房仅需  $15.93 \text{ W/m}^2$  的热量就能满足房间的采暖需求。在太阳能丰富的北方地区, 对房屋进行附加阳光间节能改造是完全可行的。

**关键词:** Energyplus; 附加阳光间; 太阳房; 热平衡方程; 经济性

**中图分类号:** TU832.17    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1674-4764(2015)S0-0032-04

## Simulation analysis and evaluation of passive solar house based on energyplus

Zhang Guoyan<sup>1</sup>, Ding Yun<sup>1</sup>, Yang Qing<sup>1</sup>, Lyu Xuetao<sup>2</sup>, Liu Yanqi<sup>1</sup>

(1. Lanzhou jiaotong university institute of environmental and municipal engineering, Lanzhou 730070, China;

2. CCECC Fuzhou survey and design institute co., Ltd, fuzhou, 360001)

**Abstract:** In this paper, the station apartment is transformed into the sunspaces-attaching passive solar house in the Inner Mongolia region. Through the calculation of dynamic simulation software, we evaluate and analyze the result of the simulation, as well as the economic calculation of the attached sunspace. Through the analysis found that the sunspaces-attaching passive solar house only need  $15.93 \text{ W/m}^2$  to meet heating demand. The results show the building for attached sunspace is completely feasible in the solar-rich northern region.

**Key words:** Energyplus ; attached sunspace ; solar house ; heat balance equation ; economical efficiency

我国具有丰富的太阳能资源,在北方需要供暖的区域,将建筑物与太阳能结合起来的被动式太阳房在极大程度上解决了太阳能丰富地区的采暖需求,并且具有很大的节能潜力,近年来在我国一些建筑中得到应用。附加阳光间式被动太阳房是一种经济而有效地利用太阳能的被动式采暖建筑,是太阳能热利用的一个重要领域。附加温室(阳光间)式太阳房是在南墙外设有一个阳光空间。南墙上开有通

气孔或开设门窗,使阳光空间和采暖居室形成气流循环通路,南墙本身也是集热蓄热墙体。这样,太阳能可同时对附加阳光间和居室供热。目前我国附加温室式太阳房有封闭暖廊、封闭门斗、封闭走廊、封闭阳台等多种,其优点是外形美观,保温、集热性能好。封闭走廊在我国甘肃省应用最多,把传统建筑开敞的外廊用玻璃封闭起来,既减少风沙侵入,起到集热保温作用,又增加了室内活动空间,因此很受当

地居民欢迎。

结合调研情况和内蒙地区被动式太阳能应用现状,对附加阳光间式被动太阳房进行模拟,并深入研究分析方案的技术性、经济性。

## 1 建筑模型及概况

模拟建筑属于铁路中小站区的职工公寓,位于内蒙古呼和浩特局的福生庄站区。职工公寓建于 1987 年,为一层坡屋顶建筑,建筑面积为 453.5,层高 3.2 m,共 21 间,朝向为正南向,且仅南面有窗,窗墙面积比为 0.16;建筑物体形系数为 0.73,外墙采用的是 370 mm 厚实心黏土砖、内外 20 mm 厚水泥砂浆传热系数  $1.53 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ;隔墙为 120 mm 厚实心黏土砖;外窗为普通金属框 6 mm 单玻传热系数  $3.4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ;屋顶为坡屋顶传热系数  $3.4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 。

按照附加阳光间的设计要求,建筑物本身维护结构要满足一定的节能要求。对福生庄工务段单身宿舍在建筑围护节能改造基础上进行附加阳光间改造,并结合福生庄所处的气候特征,利用建筑动态模拟软件 Energy Plus 对该情况下的能耗进行模拟。

建模过程中对福生庄单身宿舍的建筑围护结构按如下条件设置。

外墙:370 mm 实心砖墙,外贴 120 mm 厚膨胀聚苯板(EPS)保温层,传热系数为  $0.294 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ;屋面:室内吊顶材料,130 mm 厚挤塑聚苯板(XPS)吊顶,传热系数为  $0.244 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ,在南面立墙设置长为 90.7 m,进深为 1.2 m 的附加阳光间,附加阳光间玻璃材料为单层 5 mm 钢化玻璃,夜间加保温帘,保温热阻为  $0.2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ ,遮阳方式取内遮阳,采用深色遮阳材料,保温热阻为  $0.2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ ,遮阳时间为 18:00 至第二天 08:00 (夜间主要用于隔热保温考虑)地面:120 mm 厚土坯。

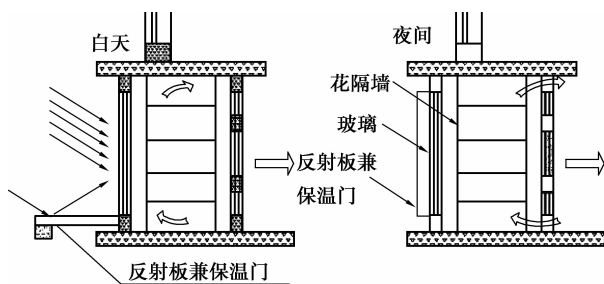


图 1 太阳房墙体结构图

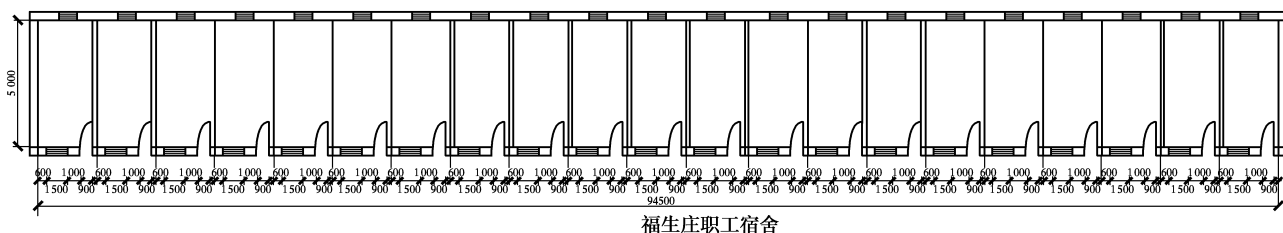


图 2 太阳房平面图

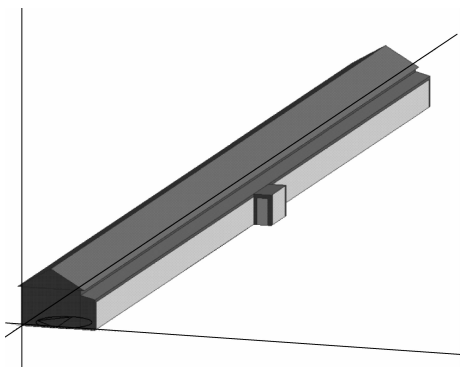


图 3 太阳房模型

## 2 附加阳光间的数学模型

附加阳光间式被动太阳房的组成为房间和其前

面的阳光间。阳光间和房间中间有隔墙隔开。附加阳光间式被动太阳房的传热过程有 2 种途径:一是热量由温度高的阳光间通过隔墙出入到房间内;另一种:热量由隔墙上的开口经过对流换热将热量传入房间。附加阳光间的数学模型分为阳光间和室内的内表面热平衡方程和室内热平衡方程。

### 2.1 阳光间维护结构内表面热平衡方程

阳光间围护结构内表面热平衡方程组用文字表示为:传热量+与室内空气对流换热量+与其他各表面间的辐射换热量+直接接受的辐射得热量=0

对于  $\tau$  时刻单位面积的第  $i$  表面,其热平衡方程为:

$$-q_i(\tau) + q_{c,i}(\tau) + q_{r,i}(\tau) + q_{R,i}(\tau) = 0$$

1) 墙体等围护结构传热量  $q_i(\tau)$  ( $i=1, 2, \dots, m$ )

第  $i$  墙体在  $\tau$  时刻传热量为:

$$q_i(\tau) = \sum_{k=0}^{N_1} Y_k t_e(\tau - k\Delta) - \sum_{k=0}^{N_1} Z_k t_i(\tau - k\Delta)$$

式中:  $t_e$  为室外空气综合温度;  $t_i$  为第  $i$  墙体的内表面温度;  $Y_i$  为第  $i$  墙体内部表面的吸热反应系数,  $W/(m^2 \cdot K)$ ;  $Z_i$  为第  $i$  墙体的传热反应系数,  $W/(m^2 \cdot K)$ ;  $N_1$  为取用的反应数项数。

2) 门窗围护结构传热量  $q_i(\tau)$  ( $i=m+1, m+2, \dots, M$ )

对门窗等围护结构将其传热按稳态传热考虑。

$$q_i(\tau) = k_i [t_e(\tau) - t_b(\tau)]$$

式中:  $k_i$  为第  $i$  门窗的传热系数,  $W/(m^2 \cdot K)$ 。

3) 与室内空气对流换热量

$$q_{c,i}(\tau) = h_{c,i} [t_b(\tau) - t_i(\tau)]$$

式中:  $h_{c,i}$  为第  $i$  围护结构内表面的对流换热系数,  $W/(m^2 \cdot K)$ ;  $t_b$  为阳光间空气温度,  $^{\circ}C$ 。

4) 围护结构各表面间的辐射换热量

$$q_{r,i}(\tau) = \sum_{j=1}^{N_2} h_{r,ji} [t_j(\tau) - t_i(\tau)]$$

$$h_{r,ji} = \sum_{j=1}^{N_2} C_b \epsilon_{ji} \frac{(T_j(\tau))^4 - (T_i(\tau))^4}{t_j(\tau) - t_i(\tau)} \times 10^{-8}$$

式中:  $h_{r,ji}$  为围护结构内表面之间的辐射换热系数,  $W/(m^2 \cdot K)$ ;  $N_2$  为围护结构内壁面数;  $\epsilon$  为围护结构内表面发射率;  $C_b$  为黑体辐射系数,  $W/(m^2 \cdot K^4)$ ;

5) 直接接受的辐射得热量

$q_{R,i}(\tau)$  为维护结构表面得到的太阳辐射、设备及人体辐射的热量。阳光间的辐射得热量主要指通过窗户太阳辐射得热。由于附加阳光间窗户面积比较大, 需要考虑太阳辐射得热量。

$$q_{R,i}(\tau) = RHG_{si}(\tau)$$

$$RHG_{si}(\tau) = \beta_i a SHG_s(\tau) \chi_s(\tau) \chi_f SC$$

式中:  $RHG_{si}(\tau)$  为围护结构的总太阳辐射得热量,  $W$ ;  $\beta_i$  为投射到透光围护结构总太阳辐射得热量在第  $i$  围护结构内表面的分配比;  $SHG_s$  为投射到透光围护结构总太阳辐射得热量,  $W$ ;  $SC$  为遮阳系数;  $\chi_s$  为阳光实际照射面积比;  $\chi_f$  为窗玻璃的有效面积系数。

综上, 第  $i$  围护结构  $\tau$  时刻单位面积热平衡方程:

当墙体为围护结构时:

$$\sum_{k=0}^{N_1} Y_k t_e(\tau - k\Delta) - \sum_{k=0}^{N_1} Z_k t_i(\tau - k\Delta) +$$

$$h_{c,i} [t_b(\tau) - t_i(\tau)] + \sum_{j=1}^{N_2} h_{r,ji} [t_j(\tau) - t_i(\tau)] +$$

$$RHG_{s,i}(\tau) = 0$$

当门窗为围护结构时:

$$K_i [t_e(\tau) - t_b(\tau)] + h_{c,i} [t_b(\tau) - t_i(\tau)] + \sum_{j=1}^{N_2} h_{r,ji}$$

$$[t_j(\tau) - t_i(\tau)] = 0$$

## 2.2 阳光间空气的热平衡方程

阳光间空气动态热平衡方程可表示为:

$$\sum_{i=1}^{N_2} F_i h_{c,i} [t_i(\tau) - t_b(\tau)] + L(\tau) \rho_w c_{pw} [t_w(\tau) - t_b(\tau)] +$$

$$HG(\tau) + Q_s(\tau) + Q_{ab}(\tau) = V \rho_b c_{pb} \frac{dt_b(\tau)}{dt} \Big|_{\tau = \tau_0}$$

式中:  $F_i$  为第  $i$  围护结构内表面面积,  $m^2$ ;  $L$  为空气渗透量,  $m^3/h$ ;  $h_{c,i}$  为第  $i$  围护结构内表面与室内空气的对流换热系数,  $W/(m^2 \cdot K)$ ;  $\rho_w$  为室外空气密度,  $kg/m^3$ ;  $\rho_b$  为阳光间空气密度,  $kg/m^3$ ;  $c_{pw}$  为室外空气比热容,  $kJ/(kg \cdot K)$ ;  $Q_s$  为太阳辐射得热量,  $W$ ;  $t_w$  为室外空气温度,  $^{\circ}C$ ;  $c_{pb}$  为阳光间空气比热容,  $kJ/(kg \cdot K)$ ;  $HG$  为采暖系统提供的供热量,  $W$ ;  $Q_{ab}$  为自然循环对流换热量,  $W$ ;  $V$  为房间容积,  $m^3$ 。

## 3 模拟参数设置及结果分析

本次仅模拟其在采暖期内的能耗, 供热方式设置为散热器采暖系统(供水  $75^{\circ}C$ , 回水  $50^{\circ}C$ ), 间歇式运行; 采暖设计温度  $16^{\circ}C$ , 间歇式运行, 通风方式为自然通风, 照明热扰为平均  $22 W/m^2$ , 其他参数按默认设置; 设置遮阳时间为遮阳时间为 18:00 至第二天 08:00 (夜间主要用于隔热保温考虑); 模拟了有阳光间建筑模型和无阳光间建筑模型在冬季最冷月 12 月和 1 月室内温度的情况进行分析。得出模拟结果如下:

Energy Plus 的模拟结果表明附加阳光间式被动太阳房建筑的采暖季耗热量指标较既有建筑的耗热量指标减少了  $63.31 W/m^2$ , 最终耗热量指标仅为  $15.93 W/m^2$ , 节能率达  $79.90\%$ 。附加阳光间后, 其耗热量指标已符合《内蒙古居住建筑节能设计标准》(DBJ03—35—2008) 中规定的福生庄的耗热量指标限值  $16.8 W/m^2$ 。

表 1 和表 2 分别为附加阳光间改造成本和煤耗节约节约成本。在折现率为  $5.0\%$  和能源增长率为

6.0%的情况下,附加阳光间改造成本的现金流量表见表 3。

表 1 附加阳光间的改造成本

改造部位	各部位改造综合 单价/(元·m <sup>2</sup> )	各部位改造 面积/m <sup>2</sup>	各部位改 造成本/元
外墙	195.00	516.24	100 666.80
屋顶	232.50	453.50	105 438.75
外窗	383.00	46.80	17 924.40
阳光间	239.00	388.14	92 765.46
外墙+屋顶 +外窗			316 795.41

表 2 附加阳光间煤耗节约成本

节约热 量(J/年)	Ⅱ类烟煤热 值(J/kg)	节约煤 耗/kg	Ⅱ类烟 煤单价 (元/kg)	煤节约 成本/元
451 476 069 408.00	20 934 000.00	50 975.70	0.70	35 682.99

表 3 附加阳光间的现金流量表

年 份	净现金流量	折现 系数	折现值	累计折现值
0	-316 795.41	1.00	-316 795.41	-316 795.41
1	35 682.99	0.95	33 983.80	-28 2811.61
2	37 823.97	0.91	34 307.45	-248 504.16
3	40 093.41	0.86	34 634.19	-213 869.97
4	42 499.01	0.82	34 964.04	-178 905.93
5	45 048.95	0.78	35 297.03	-143 608.89
6	47 751.89	0.75	35 633.19	-107 975.70
7	50 617.00	0.71	35 972.56	-72 003.14
8	53 654.02	0.68	36 315.15	-35 687.99
9	56 873.26	0.64	36 661.01	973.02

现正值,表明已经回收了外墙投资成本,投资回收期约为 8.63 年。

4 结 论

在内蒙太阳能丰裕的地区附加阳光间节能率高,所需辅助热量少,附加阳光间作为集热蓄热部分所收集的热量,在采暖期起到了一定的供暖作用,具有明显的节能效果。因此,比起普通节能建筑物,附加阳光间式太阳房不仅可以节省常规能源的消耗,对严重的环境压力也起到了极大的缓解作用。从经济成本角度来看,在太阳能丰富的寒冷地区,大力的发展附加阳光间式太阳房是可行的。

参考文献:

[ 1 ] Akbarzadeh A, Charters W W S, Iesslie D A. Thermocircu—lafion characterisfies of a Trombe wall passive test cell[J]. Solar Energy,1982,28:461-468.

[ 2 ] Carroll J A. An“MRT Method”of Computing Radiant Energy Exchange in Rooms [C]. proceedings of the 2nd Systems Simulation and Economics Analysis Conference. 1998.

[ 3 ] 芦潮,唐汝宁. 高寒地区附加阳光间式太阳房的节能分析[J]. 节能,2005(7):28-31.

[ 4 ] 殷双喜. 附加阳光间式被动太阳房热负荷特性研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2011.

[ 5 ] 石磊,赵秉文,张秉瑜. 反向阳光间被动式太阳能空气采暖系统[J]. 能源技术, 2002,12(6):249-251.

[ 6 ] 袁伟. 拉萨市太阳能建筑间歇采暖负荷特性研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2011.

[ 7 ] 李现辉,郝斌,许海松. 青海藏区农牧民被动太阳能房模拟分析与评价[J]. 暖通空调,2011(8):72-73.

[ 8 ] 袁伟. 低温地板辐射供暖系统间歇运行室内热环境研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2012.

从表中可以看出,在第 9 年累计折现值开始出

(编辑 陈移峰)