

doi:10.11918/j.issn.0367-6234.2015.02.007

哈尔滨居住建筑南向窗尺寸优化遮阳效果分析

张一飞, 赵天宇, 李光皓

(哈尔滨工业大学 建筑学院, 150001 哈尔滨)

摘 要: 为改善哈尔滨居住建筑节能效果, 以提高南向窗夏季遮阳效率为研究目的, 根据哈尔滨气候特点来确定合适的窗地面积比, 通过控制南向窗开设面积、高度与宽度、外墙厚度、遮阳板宽度等要素, 在不降低冬季采光效果的前提下实现对夏季高温时段直射太阳光线的遮挡, 减少室温制冷成本, 提高居住建筑节能效率。经过仿真模拟分析, 实现哈尔滨居住建筑南向窗节能效率最大化, 通过一系列公式形成南向窗节能规范性设计模式, 通过对地面接收热量的定量计算验证了节能南向窗的节能效果。

关键词: 哈尔滨; 居住建筑; 南向窗; 遮阳

中图分类号: TU984. 12; TU18

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2015)02-0037-05

Energy conservation optimization for shape of southern window of residential buildings in Harbin

ZHANG Yifei, ZHAO Tianyu, LI Guanghao

(School of Architecture, Harbin Institute of Technology, 150001 Harbin, China)

Abstract: In order to improve energy saving efficiency of Harbin residential building, we select optimizing southern windows' size to improve sunshade efficiency as research purpose, appropriate glazing floor area ratio of should be confirmed within the specification limitation according to Harbin's climate. By controlling the southern windows' area, height and width, wall thickness and visor width, energy saving efficiency can be improved by preventing direct solar insolation in summer, which can reduce the cost of room temperature refrigeration, without reducing solar insolation in winter. The energy-saving efficiency will be maximized by software simulation analysis, and the southern window normative design patterns is formed. Through calculating receiving heat of ground energy saving effect of the optimized southern window can be verified.

Keywords: Harbin; residential building; southern window; sunshade

哈尔滨市位于北纬 44°04'~46°40'、东经 125°41'~130°13'之间,属于中温带大陆性季风气候,冬季漫长寒冷,夏季短暂炎热,春秋季节气温升降快。通过分析 2012 年哈尔滨全年温度数据

(<http://www.tianqihoubao.com/lishi/haerbin.html>) (图 1)可以看出 18~25℃的舒适室温所占时段较短,因此在 10 月 15 日至次年 4 月 15 日采暖期与 6 月 20 日至 8 月 10 日制冷期采取人为干预措施来提高室内舒适度。在冬夏温差极大的气候条件下,对太阳辐射接受量最大的南向窗进行研究是哈尔滨居住建筑节能设计的关键。以往节能研究中,采用百叶窗可以起到较理想的遮阳效果,不过却牺牲了通风、观景功能。因此,在不影响通风、观景前提下通过对南向窗尺寸进行优化来实现遮阳效果为居住建筑节能设计提供了另一种研究思路。

收稿日期: 2014-06-30.

基金项目: 国家自然科学基金(51478136);住房和城乡建设部软科学研究项目(R22013174);中国博士后科学基金(2014M551248);中央高校基本科研业务费专项基金(HIT.NSRIF.2013073).

作者简介: 张一飞(1979—),男,讲师,博士;

赵天宇(1961—),男,教授,博士生导师.

通信作者: 李光皓, hao3176@126.com.

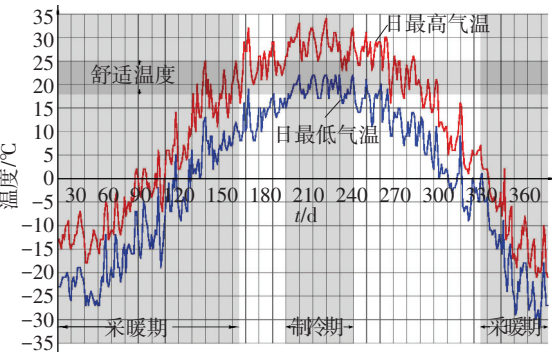


图 1 哈尔滨 2012 年全年气温变化趋势

1 南向窗形制优化依据

依据上述温度数据分析,可以确定寒地居住建筑南向窗的节能设计目标是尽量满足冬季保温与夏季遮阳的使用要求.文献[1-3]的研究数据表明随南向开窗面积变大,建筑保温性能呈线性下降趋势,也就是说没有窗户的建筑保温节能效果最好.但实际上居民有刚性室内采光要求,所以权衡结果是在节能与采光的矛盾间寻找合适的窗地面积比.

《住宅建筑规范》7.2.2 条规定卧室、起居室(厅)、厨房应设置外窗,窗地面积比不应小于1/7.为减少冬季室内热量散失,窗地比尽量接近1/7才能尽可能地达到保温节能效果.

与遮阳效果关系最为密切的参数是太阳高度角.根据文献[4]中夏半年(3月21日—9月23日)的太阳高度角计算公式

$$\delta = 90 - \arcsin[\sin \phi \sin(180n/186)],$$
$$n \in [0, 186]; \tag{1}$$

与冬半年(9月23日—12月22日)的太阳高度角计算公式

$$\delta = 90 + \arcsin[\sin \phi \sin(n - 186)],$$
$$n \in [186, 276];$$

以及春季时段(12月22日—次年3月21日)的太阳高度角计算公式

$$\delta = -\arcsin[\sin \phi \cos 90(n - 276)/89],$$
$$n \in [276, 365].$$

式中 n 为天数, ϕ 为地理纬度.可以计算得出哈尔滨全年正午太阳高度角变化趋势(图2).由图2可知哈尔滨的正午太阳高度角在6月22日达到全年最大值 $68^{\circ}04'$,12月22日达到全年最小值 $21^{\circ}12'$.

图1中需制冷时段为6月20日—8月10日,将此期间确定为需遮阳时段,因此与该时段对应的太阳高度角范围为 $60^{\circ}17' \sim 68^{\circ}04'$.由于此时段并不相对于6月22日中轴对称,因此 $60^{\circ}17' \sim 68^{\circ}04'$ 的实际涵盖时段为5月4日—8月10日.

根据哈尔滨历年气温记录显示5月初是全年第一次高温时段,而上述遮阳角度范围能够满足避免全年高温时段太阳直射的目的.

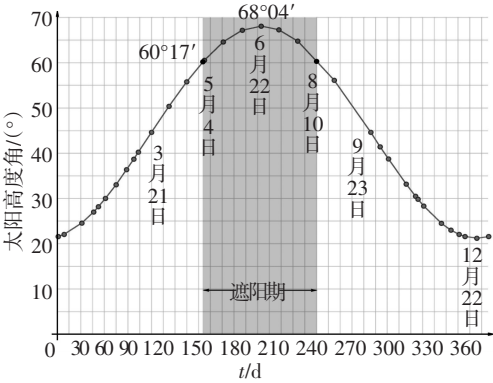


图 2 哈尔滨全年正午太阳高度角变化状态

由以上论述可以得出哈尔滨居住建筑南向开窗方式应当遵循的原则:1)南向窗能够对太阳高度角为 $60^{\circ}17'$ 以上的太阳光线进行遮挡;2)南向窗设置的窗地面积比尽量接近1/7.在后续的优化策略模拟分析中,将依据以上两条原则对哈尔滨居住建筑南向窗进行节能优化.

2 南向窗优化模拟分析

2.1 南向窗节能形制原理

模拟分析方案是通过既定尺寸的房间面积来推算开窗尺寸,进而推导出能应用于任意面积的开窗尺寸公式.为便于计算,选择进深4.0 m、开间3.5 m的矩形房间为研究对象.根据上述窗地比标准1/7,确定南向开窗面积为 $(4.0 \times 3.5)/7 = 2.0 \text{ m}^2$.确定开窗面积后,南向窗的高度、宽度、位置就成为进一步研究的对象.

在南向窗优化模型中,采取外墙安置遮阳板、保证外墙厚度、控制窗体高度几种手段来实现对太阳高度角大于 $60^{\circ}17'$ 的太阳光线进行遮挡的效果(图3).

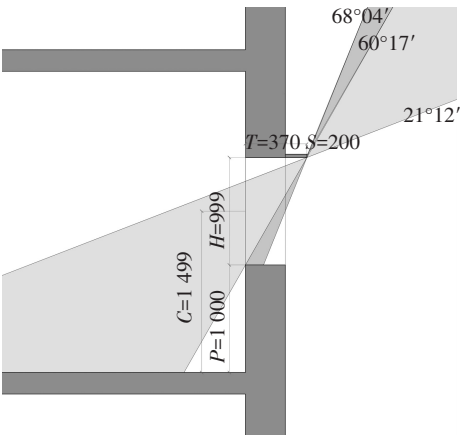


图 3 南向窗遮阳示意

图3 临界太阳高度角为8月10日的 $60^{\circ}17'$,通过厚度370 mm的外墙墙体与宽度200 mm的遮阳板来共同完成遮阳作用,此时窗体高度也有所限制,取为999 mm.

根据图3的遮阳原理,可以得出南向窗开设高度 $H = \cot 60^{\circ}17'(T + S)$,式中 T 为外墙厚度, S 为遮阳板出挑宽度,两者的总和决定了南向窗的高度.文献[5-8]表明当外墙厚度较小时,则遮阳板宽度较大;反之,遮阳板宽度较小.

确定南向窗自身高度后,还需确定南向窗窗台高度.规范规定窗台距地面高度在900~1100 mm范围内较为适宜.如何在规范规定范围内确定合理数值需要寻求合理依据,那么就归结到南向窗的使用要求上.南向窗作用是采光、观景,因此人眼高度是决定窗体高度的关键,文献[9-11]中指出人眼高度有赖于居民平均身高来确定.

男性平均身高大于女性,根据木桶效应,应当以女性平均身高(1 600 mm)作为窗体垂直高度中心计算依据.女性平均人眼高度可依据平均身高减去100 mm进行计算,因此可确定1 500 mm为南向窗中心高度.根据窗体中心高度 $C = 1\,500\text{ mm}$ 可以计算出窗台高度 $P = C - 0.5H = 1\,500 - 0.5 \times 999 = 1\,000.5\text{ mm}$.出于施工模数的考虑,采用最为接近的模数窗台高度 $P = 1\,000\text{ mm}$,在此基础上反推出窗体中心高度 $C = P + 0.5H = 1\,000 + 0.5 \times 999 = 1\,499\text{ mm}$.在得到南向窗自身高度数值后,也可以相应地计算出南向窗开设宽度 $W = A/7H = (4 \times 3.5)/(7 \times 999) = 2\,000\text{ mm}$ (A 为房间面积).

根据以上节能原则计算得出的南向窗总开设面积相对于传统窗体并没有变化,但是其高度相对较低,宽度相对较宽.

上述系列公式中除了参数“7”是根据规范所规定的哈尔滨的窗地比确定以外,其他参数均具有不同地域适应性,因此如果将参数“7”替换为其他地域对应的窗地比数值,将可以使公式适应各种地域气候特点,成为各地通用的南向节能窗计算公式.

2.2 仿真模拟分析与节能效果计算

根据6月22日的白昼时长,运用 Tracepro 软件选取04:00—20:00的有效照射时段对南向窗投影进行模拟分析(图4).图4分析结果显示节能南向窗对夏季太阳直射光进行了有效遮挡.

根据12月22日的白昼时长,运用 Tracepro 软件选取08:00—16:00的有效照射时段对南向窗投影进行模拟分析(图5).在图5中,节能南向

窗的太阳光投射区域形状虽然与方形窗有所不同,但投射总面积相等,因此能够在冬季与方形窗相同程度地吸纳太阳光线,保证热量辐射不受损失.

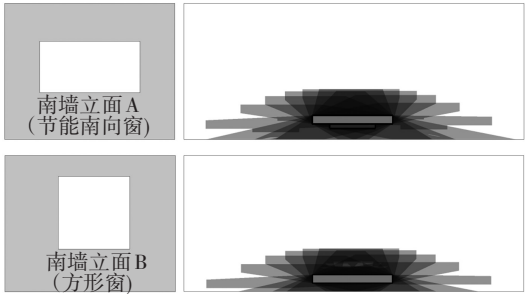


图4 6月22日节能南向窗与方形窗投射阴影叠加分析 (04:00—20:00)

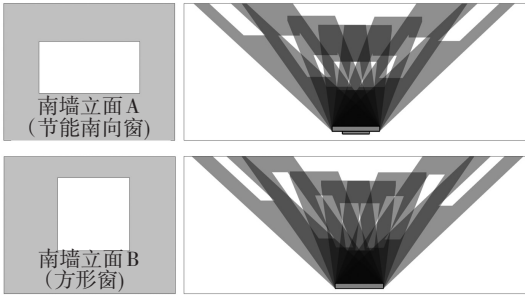


图5 12月22日节能南向窗与方形窗投射阴影叠加分析 (08:00—16:00)

验证节能南向窗效用后,仍需计算尺寸优化所带来的节能效果.节能效果数值需要不同时段下方形窗的地面投射面积与该时间的太阳辐射强度两个参数来进行计算.依据太阳几何学,可推理得出方形窗的地面投射面积为 $B \cot \delta$ (B 为方形窗面积, δ 为太阳高度角),因此可依据此公式与公式(1)计算得出6月22日不同时段方形窗的地面投射面积(图6).

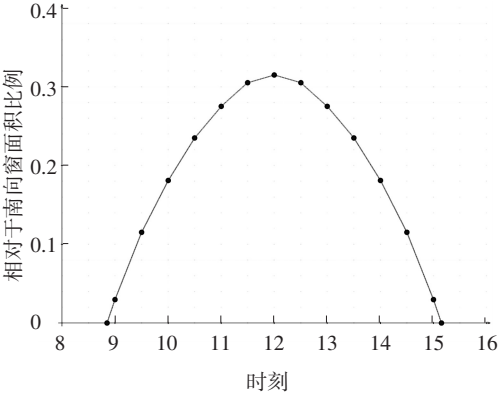


图6 6月22日不同时段方形窗的地面投射面积

为验证理论分析与软件模拟分析的准确性,于7月14日在哈尔滨市居住区选取高1.42 m、宽1.42 m的南向窗与高1.0 m、宽1.4 m的南向窗

作为对比实验对象,对其地面投射面积进行全天观测.观测结果表明高 1.0 m 的南向窗能够避免夏季太阳光直射入室内,将高 1.42 m、宽 1.42 m 的南向窗地面投射面积观测数据与模拟分析结果进行对比(图 7),误差控制在较小范围内,可以验证理论分析与模拟分析结果具有现实可行性.

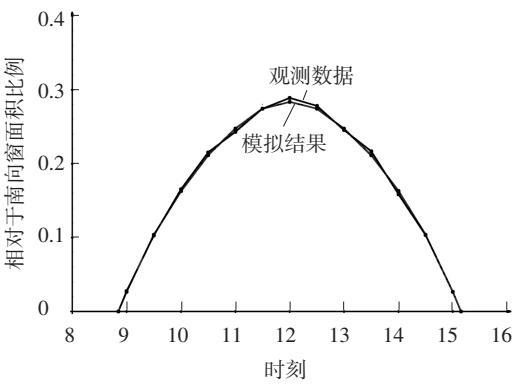


图 7 7 月 14 日南向窗投射面积观测数据与模拟结果对比

太阳辐射强度由太阳入射角所决定,因此确定不同时段的太阳入射角成为计算太阳辐射强度的前置工作.依据太阳几何学整理出南向窗太阳入射角计算公式为

$$\cos i = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega,$$

式中: i 为太阳入射角, ϕ 为地理纬度, δ 为太阳高度角, ω 为太阳时角.

一天中太阳高度角与太阳时角处于变化过程中,为便于分析节能效果,以小时为单位选取整点时刻进行计算,最终得出 6 月 22 日全天太阳辐射强度变化趋势(图 8).

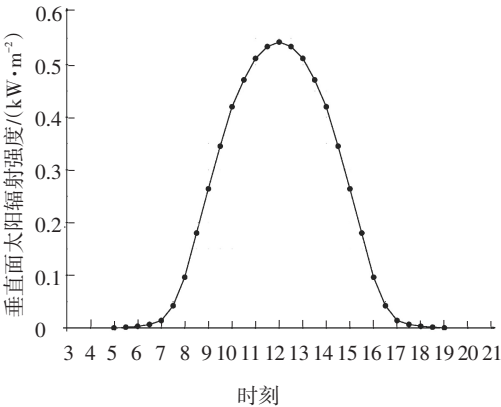


图 8 6 月 22 日全天太阳辐射强度变化趋势

依据图 6、7 中的地面投射面积与太阳辐射强度数据,可以用文献[12]的公式对透过玻璃的太阳辐射得热量进行计算.

$$SHG = SHGC(\theta, \lambda) I_{DV} + < SHGC >_D (I_{ds} + I_{RV} + I_B),$$

其中

$$I_{DV} = I_o + p^m \cos \delta \cos \varepsilon,$$

$$I_{dv} = I_{DS} + I_{RV} + I_B,$$

$$SHGC(\theta, \lambda) = \tau(\theta, \lambda) + N\alpha(\theta, \lambda),$$

$$N = h_i / (h_e + h_i).$$

式中: $SHGC(\theta)$ 为太阳直接辐射的玻璃太阳得热系数, λ 为波长, $< SHGC >_D$ 为太阳散射辐射的玻璃太阳得热系数, I_{DV} 为垂直面接收的太阳直射辐射强度, I_{dv} 为垂直面接收的太阳散射辐射强度, I_o 为太阳常数, p^m 为大气透明度, δ 为太阳高度角, ε 为垂直面太阳方向角, I_{ds} 为垂直面接受的天空散射辐射强度, I_{RV} 为垂直面接受的地面散射辐射强度, I_B 为垂直面接受的大气长波散射辐射强度, τ 为太阳直射辐射透过率, N 为太阳直射辐射吸收的热量向房间放热的比例, α 为太阳直射辐射吸收率.

通过上述公式的计算,可以得出透过窗体投射至地面的每小时累积得热(表 1).

表 1 节能南向窗相对于方形窗所减少的室内投射热量 kJ

时间段	透过面积 2 m ² 窗体的地面接收热量
08:00—09:00	6.5
09:00—10:00	588.3
10:00—11:00	1213.8
11:00—12:00	2086.2
12:00—13:00	2086.2
13:00—14:00	1213.8
14:00—15:00	588.3
15:00—16:00	6.5
全天累积	7 789.6

表 1 数据表明通过尺寸优化的节能南向窗相对于方形窗每天能够减少投射进室内热量 7 789.6 kJ.由此可见,经过节能公式计算得出的优化尺寸的南向窗能够相对于相同面积的南向方形窗产生较为明显的节能效果,如果对比对象是面积更大的其他南向窗形式,那么这种节能效果将更加显著.

3 结 论

1) 哈尔滨居住建筑南向窗是建筑保温节能的重要构件,为了使冬季保温与夏季遮阳效果最优化,需要对南向窗的面积、尺寸等要素进行优化研究.

2) 随着南向窗面积增大,建筑保温性能呈线性下降趋势,因此应将《住宅建筑规范》的窗地比规定下限 1/7 作为哈尔滨居住建筑的窗地比,以

达到在规范规定范围内取得最好的建筑保温效果的目的。

3) 在 1/7 的窗地比前提下,优化的节能南向窗开设高度为 $H = \cot 60^{\circ}17'(T + S)$,南向窗窗台高度 $P = 1\ 000\ \text{mm}$,南向窗中心高度 $C = P + 0.5H$,南向窗开设宽度 $W = A/7H$ 。

4) 上述公式得出了一套依据房间面积等已知条件计算节能南向窗尺寸的方法,能够精确指导实际建筑设计环节.通过对透过方形窗的地面接收热量的定量计算,验证了节能南向窗能够在维持原有冬季采光效果的前提下对夏季高温时段的太阳直射光线进行遮挡,进而达到节能效果。

参考文献

[1] 李宝鑫,芦岩. 寒冷地区窗墙面积比对建筑能耗影响分析[J]. 建设科技,2012,10(10): 38-40.

[2] 卢娜,胡瑞,马新淇. 寒冷地区外窗对建筑能耗影响研究[J]. 中国建筑金属结构,2010,28(9): 21-23.

[3] 常静,李永安. 居住建筑窗墙面积比对供暖能耗的影响研究[J]. 暖通空调,2008,38(5): 109-112.

[4] 蒋洪力. 太阳直射点纬度的数学推导和分析[J]. 数学通报,2007,46(9): 39-40.

[5] STECHER D, ALLISON K. Maximum residential energy efficiency performance results from long-term monitoring of a passive house [J]. ASHRAE Transactions, 2012, 118(1): 127-134.

[6] MATHIAS J A, MATHIAS D M. Energy efficient, cost effective, passive solar house [J]. ASHRAE Transactions, 2009, 115(1): 419-426.

[7] BREW J S. Achieving passivhaus standard in north America: lessons learned [J]. ASHRAE Transactions, 2011, 117(2): 51-58.

[8] DAVID S, KATRIN K. Design and performance of the Smith house, a passive house [J]. ASHRAE Transactions, 2008, 114(1): 209-217.

[9] BRENT S. Modeling a net-zero energy residence combining passive and active design strategies in six climates [J]. ASHRAE Transactions, 2011, 117(1): 381-388.

[10] 裴智超,曾宇,侯毓,等. 严寒地区绿色住宅建设探索与实践[J]. 城市,2012,13(10): 34-36.

[11] 秦枫,刘振亭. 辰能·溪树庭院绿色建筑节能设计研究分析[J]. 建筑知识,2012,32(3): 138.

[12] 金星,张小松,邱童,等. 透过玻璃窗的太阳辐射热量测试研究[J]. 太阳能学报,2009, 30(10): 1203-1208.

(编辑 赵丽莹)