

# 建筑水平外遮阳板角度对其与外窗间传热效果影响的分析与研究

李 杜, 陈永明

(盐城工学院电气工程学院, 盐城 224001)

**摘 要:** 根据传热学原理,利用数学模型对建筑水平外遮阳板与外窗之间的热传导、辐射传热和对流传热进行模拟分析得出随遮阳角度变化的传热效果曲线图,同时采用 Fluent 软件进行实验验证,归纳出传热效果随遮阳角度的变化规律。

**关键词:** 传热; 对流; 辐射; 节能

**中图分类号:** TU113

**文献标识码:** A

## 0 引 言

据统计资料显示,中国建筑能耗中通过窗户散失的能量约占建筑总能耗的 50%,是加拿大和北美同类建筑的 2 倍以上,而当今建筑设计的开窗面积越来越大,因此外窗节能成为建筑节能的关键和重点之一<sup>[1-4]</sup>。建筑外窗的传热系数也成为衡量建筑节能的重要指标。建筑外窗影响建筑能耗主要通过建筑外窗室内外的温差传热和透过建筑外窗的太阳辐射引起的室内得热两个途径。在夏热冬冷地区,夏季降低建筑制冷能耗的方法是减少透过建筑外窗的太阳辐射得热和外窗的温差传热;冬季降低采暖能耗的方法则是在减少外窗温差传热的时候,增加透过建筑外窗的太阳辐射得热,以确保最大限度地利用太阳能。因此,建筑外窗的节能设计尤为关键<sup>[5,6]</sup>。而建筑外窗遮阳的合理设计可有效增强外窗的保温隔热性能。

南京市处于北回归线以北,属于夏热冬冷地区,太阳照射南墙面的时间较长,因此南向外窗宜设置水平式遮阳。基于此,本文以南京市建筑南向外窗为例,定量分析与研究水平外遮阳板角度对遮阳板与外窗之间传热效果的影响。

## 1 水平外遮阳板构造

水平外遮阳板与建筑外窗的位置关系及其构造如图 1 所示。图 1 中  $e$  为建筑外窗的高度,在本文中取为 1.5 m;  $d$  为水平遮阳板与建筑外窗上沿的距离,根据已有专家的水平遮阳研究成果<sup>[7-10]</sup>,遮阳板最佳尺寸为 0.4 m;  $c$  为水平遮阳板的宽度;  $w$  为遮阳板长度,取为 2 m;  $\theta$  为水平遮阳板与建筑外窗之间的角度。

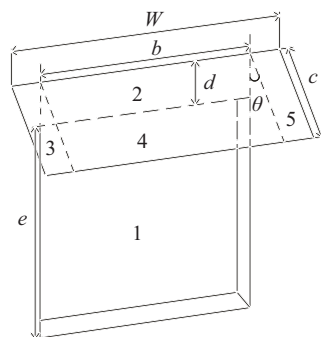


图1 水平遮阳板构造

Fig. 1 Construction of horizontal shading

## 2 传热关系分析

建筑外遮阳板的设置主要是通过阻挡辐射来

收稿日期: 2017-01-10

基金项目: 国家住建部科技项目(2016-K1-09); 江苏省住建厅科技项目(2015ZD61); 国家自然科学基金(31501221)

通信作者: 李 杜(1983—), 女, 硕士、讲师, 主要从事建筑电气与智能化方面的研究。liduchina@163.com

改变太阳辐射与外窗之间的直接得热关系,从而减少建筑得热。对于设置了建筑外遮阳板的建筑,太阳辐射首先照射到遮阳板上,而后通过遮阳板与外窗的传热关系再作用到室内热环境,进而影响建筑的制冷与制热能耗。

根据传热学原理,被遮阳板吸收的太阳辐射得热后会通过导热、对流和长波辐射传递给外窗<sup>[7]</sup>。从图 1 可明显看出,建筑外遮阳板与窗户之间的接触面积很小,两者之间的热传导效果可忽略。因此外遮阳板吸收的太阳辐射主要通过辐射传热与自然对流两种方式与外窗之间进行传热。

### 3 辐射换热模拟

#### 3.1 数学模型

遮阳板与外窗之间的辐射换热与其换热面的形状、大小及相对位置有关,角系数可用来描述以上因素对换热面之间的能量分配关系的影响。角系数的定义是:一表面发射出去的辐射能投射到另

一表面的份额为该表面对另一表面的角系数<sup>[8]</sup>,是辐射换热分析与研究中的重要参数。因此,被吸收得热的太阳辐射离开遮阳板投射到窗户的份额可用角系数  $X_{(3+4+5),1}$  来表示。根据角系数的相对性原理  $X_{(3+4+5),1} = \frac{X_{1,(3+4+5)} \cdot A_1}{A_{3+4+5}}$ ,根据角系数的可加性原理  $X_{1,(3+4+5)} = X_{1,3} + X_{1,4} + X_{1,5}$ ,为简化分析过程,  $X_{1,3}$  和  $X_{1,5}$

取值为零,  $X_{1,4} = \frac{X_{4,1} \cdot A_4}{A_1} = \frac{(X_{4,(1+2)} - X_{4,2}) \cdot A_4}{A_1}$  得:

$$X_{(3+4+5),1} = \frac{(X_{4,(1+2)} - X_{4,2}) \cdot A_4}{A_{3+4+5}} \quad (1)$$

由图 1 遮阳板构造尺寸可知:  $A_4 = 0.6 \text{ m}^2$ ;  $A_{3+4+5} = 0.8 \text{ m}^2$ , 根据文献[11],  $X_{4,(1+2)}$  的数学模型为:

$$\begin{cases} X = \frac{e+d}{b} = 1.267 \\ Y = \frac{c}{b} = 0.267 \end{cases} \quad (2)$$

$$Z = X^2 + Y^2 - 2XY \cos \theta \quad (3)$$

$$\begin{aligned} f(X, Y) = & -\frac{\sin 2\theta}{4} \left[ XY \sin \theta + \left( \frac{\pi}{2} - \theta \right) (X^2 + Y^2) + Y^2 \arctan \left( \frac{X - Y \cos \theta}{Y \sin \theta} \right) + X^2 \arctan \left( \frac{Y - X \cos \theta}{X \sin \theta} \right) \right] + \\ & \frac{\sin^2 \theta}{4} \left\{ \left( \frac{2}{\sin^2 \theta} - 1 \right) \ln \left[ \frac{(1 + X^2)(1 + Y^2)}{1 + Z} \right] + Y^2 \ln \left[ \frac{Y^2(1 + Z)}{(1 + Y^2)Z} \right] + X^2 \ln \left[ \frac{X^2(1 + X^2 \cos 2\theta)}{Z(1 + Z \cos 2\theta)} \right] \right\} + Y \arctan \left( \frac{1}{Y} \right) + \\ & X \arctan \left( \frac{1}{X} \right) - \sqrt{Z} \arctan \left( \frac{1}{\sqrt{Z}} \right) + \frac{\sin \theta \sin 2\theta}{2} X \sqrt{1 + X^2 \sin^2 \theta} \times \left[ \arctan \left( \frac{X \cos \theta}{\sqrt{1 + X^2 \sin^2 \theta}} \right) + \arctan \left( \frac{Y - X \cos \theta}{\sqrt{1 + X^2 \sin^2 \theta}} \right) \right] + \\ & \cos \theta \int_0^Y \sqrt{1 + \xi^2 \sin^2 \theta} \left[ \arctan \left( \frac{X - \xi \cos \theta}{\sqrt{1 + \xi^2 \sin^2 \theta}} \right) + \arctan \left( \frac{\xi \cos \theta}{\sqrt{1 + \xi^2 \sin^2 \theta}} \right) \right] d\xi \end{aligned} \quad (4)$$

$$X_{4,(1+2)} = \frac{f(X, Y)}{\pi \cdot Y} \quad (5)$$

同时  $X_{4,2}$  的数学模型为:

$$\begin{cases} X = \frac{d}{b} = 0.267 \\ Y = \frac{c}{b} = 0.267 \end{cases} \quad (6)$$

$$Z = X^2 + Y^2 - 2XY \cos \theta \quad (7)$$

$$X_{4,2} = \frac{f(X, Y)}{\pi \cdot Y} \quad (8)$$

式中,  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 、 $\xi$  ——计算变量;  $e$  ——建筑外窗的高度, m;  $d$  ——水平遮阳板与建筑外窗上沿的距离, m;  $c$  ——水平遮阳板的宽度, m;  $w$  ——遮阳板

长度, m;  $\theta$  ——水平遮阳板与建筑外窗之间的角度, ( $^\circ$ )。

#### 3.2 模拟结果

利用 Matlab 计算式(1)得出角系数  $X_{(3+4+5),1}$  结果如图 2 所示。根据图 2 可看出,当建筑外遮阳板的倾斜角度在  $10^\circ \sim 50^\circ$  之间增长时,角系数数值呈增大趋势:当遮阳角度为  $10^\circ$  时,角系数数值为 0.0554;当遮阳角度为  $50^\circ$  时,角系数数值增大到 0.1484。当建筑外遮阳板的倾斜角度在  $50^\circ \sim 90^\circ$  之间增长时,角系数数值呈减小趋势:当遮阳角度为  $90^\circ$  时,角系数数值减小至 0.096。

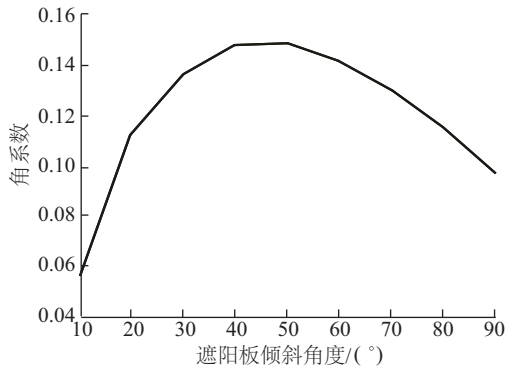


图2 角系数模拟结果

Fig. 2 Result of angle coefficient

当遮阳角度在  $40^\circ \sim 60^\circ$  之间变化时,角系数的增大速率相对缓慢。因为角系数表示遮阳板上吸收的太阳辐射投射到外窗上的份额,因此图 2 所示的角系数变化曲线图也意味着当遮阳板遮阳角度在  $10^\circ \sim 50^\circ$  之间变化时,遮阳板向外窗投射本身吸收的太阳辐射份额逐渐增大;遮阳板与外窗之间的辐射换热也逐渐增加。当遮阳板遮阳角度在  $50^\circ \sim 90^\circ$  之间变化时,遮阳板向外窗投射本身吸收的太阳辐射份额逐渐减少;遮阳板与外窗之间的辐射换热也逐渐减少。当遮阳角度在  $40^\circ \sim 60^\circ$  之间变化时,角系数数值基本稳定,分别为 0.14744、0.14844 和 0.14185。因此,当遮阳角度在  $40^\circ \sim 60^\circ$  之间变化时对遮阳板与外窗之间的辐射换热变化影响较小。

## 4 自然对流传热

### 4.1 数学模型

自然对流是指在自然界中,由于流场中存在一定的温度(或浓度)不均匀分布,因此在流体密度分布上存在较大差异,从而导致流体产生流动。同时流动的流体与固壁间会因温差而产生热量交换,所以又称为自然对流换热<sup>[6]</sup>。遮阳板与外窗之间的对流不依靠外力推动,而是由遮阳板与窗户本身不均匀的温度场引起的,因此为自然对流传热。

遮阳板与窗户之间单位面积的对流传热的热量利用牛顿冷却公式表示为<sup>[8]</sup>:

$$q = h \Delta t \quad (9)$$

式中,  $q$  ——遮阳板与窗户之间单位面积的对流传热的热量, W;  $h$  ——表面传热系数,  $W/(m^2 \cdot K)$ ;  $\Delta t$  ——遮阳板表面与周围环境的温度差绝对值, K。

由式(9)可看出,传热系数  $h$  是影响遮阳板与窗户之间自然对流传热量大小的关键因素,根据努谢尔特准则<sup>[6]</sup>:

$$h = \frac{Nu \cdot \lambda}{l} \quad (10)$$

式中,  $Nu$  ——以  $l$  作为特征长度的努谢尔特数,反映给定流场的换热能力与其导热能力的对比关系;  $\lambda$  ——遮阳板的导热系数,  $W/(m^2 \cdot K)$ ;  $l$  ——遮阳板的特征长度(m),建筑外遮阳板作为本次研究对象是热面朝上,冷面朝下的水平板,因此特征长度取遮阳板两边边长的平均值,为 1.2 m。

由式(9)与式(10)可推导出:

$$q = \frac{Nu \cdot \lambda}{l} \Delta t \quad (11)$$

由式(11)可知,在遮阳板导热系数固定的情况下,努谢尔特数  $Nu$  直接体现建筑外遮阳板与外窗之间的自然对流传热能力。两者之间自然对流传热的热量与  $Nu$  值成线性正比关系,因此  $Nu$  值变化趋势也是自然对流传热热量的变化趋势。Fujii 等<sup>[12]</sup>针对热面朝上的倾斜板提出自然对流准则,适用于建筑外水平遮阳板  $Nu$  值的计算与分析,具体如下:边界层从层流过度到紊流的值称为临界值,所对应的雷诺数为临界雷诺数,所对应的格朗晓夫数为临界格朗晓夫数。雷诺数  $Re = Gr \cdot Pr$ , 临界雷诺数  $Re_c = Gr_c \cdot Pr$ , 其中  $Gr$  为格朗晓夫数,表达式为  $Gr = \frac{g a_v \Delta t l^3}{\nu^2}$ ,  $a_v$  是流体的体胀系数 ( $K^{-1}$ ),  $a_v = \frac{1}{T_m}$ ;  $T_m = t_s - 0.25(t_s - t_f) + 273$ ,  $t_s$  是遮阳板表面温度 ( $^\circ C$ ),  $t_f$  是遮阳板周围环境温度 ( $^\circ C$ ),  $\Delta t = |t_s - t_f|$ ;  $g$  为重力加速度,取值  $9.8 m/s^2$ ,  $\nu$  为气体运动粘度 ( $m^2/s$ )。  $Gr_c$  为临界格朗晓夫数;  $Pr$  为普朗特数,当温度在  $-50 \sim 1200^\circ C$  内变化时,空气  $Pr$  值变化幅度较小且近似等于 0.7,因此在本研究中取固定值 0.7。

当  $Re > 5 \times 10^8$  时,

$$Nu = 0.13[(Gr_c \cdot Pr)^{\frac{1}{3}} - (Gr_c \cdot Pr)^{\frac{1}{3}}] + 0.56(Gr_c \cdot Pr \cos \theta)^{\frac{1}{4}} \quad (12)$$

当  $Re < 2 \times 10^8$  时,

$$Nu = 0.16[(Gr_c \cdot Pr)^{\frac{1}{3}} - (Gr_c \cdot Pr)^{\frac{1}{3}}] + 0.56(Gr_c \cdot Pr \cos \theta)^{\frac{1}{4}} \quad (13)$$

当  $Re < Re_c$  时,

$$Nu = 0.56(Gr_c \cdot Pr \cos \theta)^{\frac{1}{4}} \quad (14)$$

根据 Vliet<sup>[13]</sup>关于倾斜平面热对流的研究可知:

$$Re_c = 0.3 \times 10^7 \exp[0.18(90 - \theta)] \quad (15)$$

式中,  $\theta$ ——建筑外遮阳板与墙壁之间的角度, ( $^\circ$ )。

## 4.2 模拟结果

本次研究以春季的某日为例, 设定研究条件是南京市的环境温度为  $20\text{ }^\circ\text{C}$ , 建筑南向外墙遮阳板表面在阳光辐射的加热下温度达到  $30\text{ }^\circ\text{C}$ 。

$$Re = Gr \cdot Pr = 4.445 \times 10^6 < 2 \times 10^8 \quad (16)$$

当  $\theta < 87.81$  时,  $Re < Re_c$ ; 当  $\theta = 87.81$  时,  $Re = Re_c$ ; 当  $\theta > 87.81$  时,  $Re > Re_c$ 。因此当  $\theta \leq 87.81$  时, 采用式(14)进行计算; 当  $\theta > 87.81$  时, 采用式(13)进行计算。利用 Matlab 计算得出的结果如图3所示。

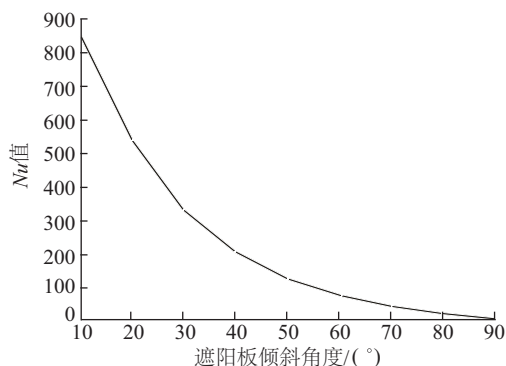


图3  $Nu$  值模拟结果

Fig. 3 Result of  $Nu$  value

由图3可看出, 当遮阳板角度逐渐增大时,  $Nu$  值逐渐减小, 而且减小趋势保持一致: 当角度为  $10^\circ$  时,  $Nu$  值为 849.5; 当角度为  $90^\circ$  时,  $Nu$  减小到 2.8。由式(3)可知, 当遮阳板的导热系数数值固定时, 遮阳板与外窗之间自然对流传热的热量与  $Nu$  值呈线性正比关系。因此, 当遮阳板角度逐渐增大时, 自然对流传热的热量逐渐减小。且从图3可看出, 当遮阳板角度在  $10^\circ \sim 20^\circ$  之间增大时,  $Nu$  值减小速率最大(为 314.5), 随着角度的增大,  $Nu$  值减小速率逐步减小; 当遮阳板角度在  $70^\circ \sim 80^\circ$  之间增大时,  $Nu$  值减小速率最小(为 20.16)。当遮阳板角度在  $80^\circ \sim 90^\circ$  之间增大时,  $Nu$  值减小速率为 20.72, 接近 20.16 近似相等。因此  $Nu$  值在遮阳角度最初

增大时的减小速率最大, 到遮阳角度增大到  $80^\circ$  时,  $Nu$  值的减小速率最小, 而且趋于稳定。因此, 遮阳板与外窗之间的自然对流热量变化趋势也相同, 当遮阳板角度刚开始增大时, 自然对流热量减小速率最大; 当遮阳板角度增大到  $80^\circ$  时, 自然对流热量减小速率最小, 而且趋于稳定。

## 5 实验仿真

### 5.1 仿真过程

本研究采用 Fluent 软件进行仿真实验。Fluent 软件是通用的 CFD 软件包, 可用来模拟从不可压缩到高度可压缩范围内的复杂流动, 其灵活的非结构网格和基于解的自适应网格技术及成熟的物理模型, 使 Fluent 在传热方面有广泛应用<sup>[14]</sup>。由于遮阳板与建筑外窗之间的热传导可忽略不计, 因此实验中主要采用软件的热对流模型与热辐射模型。模型直接由 ANSYS 中的 Workbench 进行建模, 由 mesh 进行网格划分, 最后由 Fluent 进行仿真分析。在仿真过程中, 打开能量方程来计算温度场。其中速度给定方式选定为 Magnitude, Normal to Boundary; 速度值设为  $0.1\text{ m/s}$ 。

传热系数设为  $10\text{ K}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。由于建筑外遮阳板与外窗所在区域通风速度较大, 为紊流流动, 因此选用  $k-\varepsilon$  紊流模型。其中湍动能设为  $0.02\text{ m}^2/\text{s}^2$ ; 湍流耗散率设为  $0.03\text{ m}^2/\text{s}^3$ 。Fluent 的辐射模型中 DO 模型能解决所有光学深度区间的辐射问题, 内存和计算开销均较适中, 因此在热辐射仿真时采用 DO 模型进行分析。在试验过程中, 设定环境温度为  $20\text{ }^\circ\text{C}$ , 遮阳板温度为  $30\text{ }^\circ\text{C}$ 。遮阳板与窗户外框材质采用木质, 厚度设为  $0.02\text{ m}$ 。

### 5.2 仿真结果

Fluent 的仿真实验最后得到根据遮阳板角度变化的一系列温度分布云图和总传热量。因篇幅有限, 本文仿真结果选择以总传热量为主要表现形式进行描述。根据图4、图5可看出: 遮阳板与窗户之间的总传热量随遮阳角度变化的曲线图与其各自角系数和  $Nu$  数的变化曲线图大体相同。但由于角系数与  $Nu$  数的变化曲线是利用数学模型在理想状态下的模拟结果; 而总传热量是综合能量公式、传



热系数、风速等各项客观条件的最终实验结果,因此两部分的曲线图在局部细节部分存在些许不同,但并不影响其整体变化趋势。由此可得,Fluent 仿真实验的结果验证了角系数与  $Nu$  数的数学模拟过程的正确性。

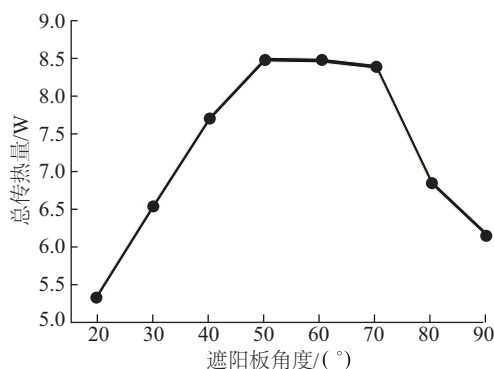


图4 热辐射仿真结果

Fig. 4 Result of heat radiation simulation

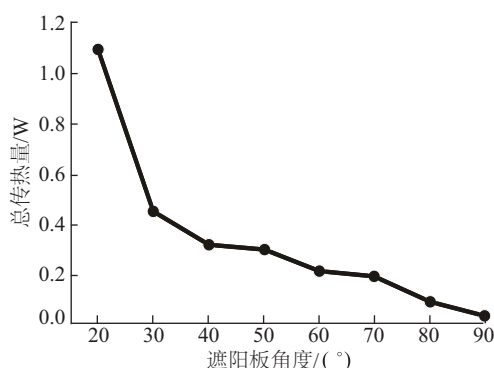


图5 热对流仿真结果

Fig. 5 Result of heat convection simulation

同时,对比图4与图5可看出,热辐射实验中的总传热量数值范围为5.36~8.49,而热对流实验的总传热量数值范围为0.03~1.11,因此热辐射的传热效果远高于热对流的传热效果。

## 6 结 论

本研究利用数学模型模拟分析了遮阳角度对建筑外遮阳板与外窗之间的传热效果的影响,研究中的数学模型模拟结果可为建筑外窗的节能设计与建筑外遮阳板的角度调节提供可靠的参考与有益的借鉴。根据模拟结果得到以下主要结论:

1)建筑外遮阳板与外窗之间的辐射换热与遮

阳角度的关系:当遮阳角度增大到50°时,角系数数值逐步增大,相对应的辐射换热热量也逐步增大;到遮阳角度由50°增大到90°时,角系数数值逐步减小,相对应的辐射换热热量也逐步减小。

2)建筑外遮阳板与外窗之间的自然对流与遮阳角度成反比关系:当遮阳角度增大时, $Nu$ 数逐步减小,其对应的自然对流热量也逐步减小。而 $Nu$ 数与自然对流热量的变化速率则随遮阳角度的增大而增大,当遮阳角度增大至80°时,其变化速率趋于稳定。

3)热辐射传热效果远高于热对流传热效果。因此在考虑遮阳角度时应以热辐射为主,热对流为辅。从降低建筑冷热负荷出发,夏季希望减少建筑外遮阳板对外窗的传热,冬季希望增加建筑外遮阳板对外窗的传热。根据本课题以往研究成果<sup>[15-17]</sup>可知:南京市南墙外遮阳板的外遮阳系数随遮阳角度的增大而减小,当遮阳角度增大到60°及以上时,遮阳系数趋于稳定。而外遮阳系数的定义是采用外遮阳措施后建筑外窗太阳辐射引起的全年能耗与无遮阳时建筑外窗太阳辐射引起的全年建筑能耗的比值。外遮阳系数与建筑能耗成正比关系,因此外遮阳板角度应在60°与90°之间进行选择。

根据仿真结果,当遮阳角度为50°时,传热效果最大;60°时虽然效果有些许减小,但根据仿真结果可看出,变化不大;70°、80°与90°时,传热效果快速下降,因此冬季水平遮阳板角度宜设为60°;夏季水平遮阳板角度宜设为90°。

## [参考文献]

- [1] 姬 颖, 许 鹏. 典型建筑在不同外遮阳形式下的节能率分析[J]. 建筑节能, 2013, 41(9): 26—29.
- [1] Ji Ying, Xu Peng. The engery saving analysis of typical building with various shading methods [J]. Building Energy Efficiency, 2013, 41(9): 26—29.
- [2] 刘大龙, 刘加平, 杨 柳. 气候条件下我国建筑能耗演化规律研究[J]. 太阳能学报, 2013, 34(3): 439—444.
- [2] Liu Dalong, Liu Jiaping, Yang Liu. The changing regulation of building energy consumption under certain weather[J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 2013, 34(3): 439—444.
- [3] 顾伟祖. 建筑外遮阳节能改造效果比较研究[J]. 建筑

- 科技, 2012, (19): 74—76.
- [3] Gu Weizu. The comparative study of building exterior shading energy saving design[J]. Construction Science and Technology, 2012, (19): 74—76.
- [4] 段 勇. 住宅外窗遮阳与节能浅析[J]. 建筑节能, 2013, (3): 37—40.
- [4] Duan Yong. The analysis of building exterior shading and energy efficiency[J]. Building Energy Efficiency, 2013, (3): 37—40.
- [5] 朱红飞. 湖南地区城市住宅外窗节能及模拟分析研究[D]. 长沙: 中南大学, 2011.
- [5] Zhu Hongfei. City residence exterior building energy efficiency and simulation analysis in Hunan City[D]. Changsha: Central South University, 2011.
- [6] 战乃岩, 徐沛魏. 考虑建筑房间内导热辐射与自然对流耦合时外围护结构对对流换热的影响[J]. 太阳能学报, 2011, 32(4): 501—507.
- [6] Zhan Naiyan, Xu Peiwei. The effect of peripheral protection structure on convection heat transfer with radiation heat transfer and natural convection in building[J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 2011, 32(4): 501—507.
- [7] 邓盼盼. 建筑遮阳节能计算及对自然通风影响的研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2011.
- [7] Deng Panpan. Research on shading energy-saving calculation and on influence of shade on natural ventilation[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2011.
- [8] 邬田华, 王晓墨, 许国良. 工程传热学[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2011.
- [8] Wu Tianhua, Wang Xiaomo, Xu Guoliang. Engineering heat transfer[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2011.
- [9] 曹国庆, 涂光备, 杨 斌. 水平遮阳方式在住宅建筑南窗遮阳应用上的探讨[J]. 太阳能学报, 2006, 27(1): 96—99.
- [9] Cao Guoqing, Tu Guangbei, Yang Bin. Study of optimum horizontal shading device dimensions for energy saving in residential buildings[J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 2006, 27(1): 96—99.
- [10] 魏巧丽, 张 欢, 杨 斌, 等. 天津地区住宅建筑南向遮阳板构型设计[J]. 暖通空调, 2004, 34(12): 102—106.
- [10] Wei Qiaoli, Zhang Huan, Yang Bin, et al. Shape design of south window shade plates in residential buildings in Tianjin[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2004, 34(12): 102—106.
- [11] 斯帕罗 E M, 塞斯 R D. 辐射传热[M]. 北京: 高等教育出版社, 1983.
- [11] Sparrow E M, Cess R D. Radiative heat transfer[M]. Higher Education Press, 1983.
- [12] Fujii T, Imura H. Natural-convection heat transfer from a plate with arbitrary inclination[J]. International Journal of Heat & Mass Transfer, 1972, 16: 1131—1135.
- [13] Vliet G C. Natural convection local heat transfer on constant-heat-flux inclined surfaces[J]. Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, 1969, 91C: 511—516.
- [14] 朱红钧. FLUENT 15.0 流场分析实战指南[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2015.
- [14] Zhu Hongjun. The Guidance of FLUENT 15.0 fluid analysis[M]. Beijing: The Posts and Telecommunications Press, 2015.
- [15] 李 杜, 胡国文, 陈永明. 水平遮阳板在室内太阳光采光分析与应用[J]. 大连工业大学学报, 2017, 36(1): 76—78.
- [15] Li Du, Hu Guowen, Chen Yongming. Analysis and application of horizontal external shading angle in building lighting[J]. Journal of Dalian Polytechnic University, 2017, 36(1): 76—78.
- [16] 李 杜, 陈永明. PLC在建筑外遮阳调控系统中设计与分析[J]. 大连理工大学学报, 2016, 56(5): 496—501.
- [16] Li Du, Chen Yongming. Design and analysis of PLC in building external shading control system[J]. Journal of Dalian University of Technology, 2016, 56(5): 496—501.
- [17] 李 杜, 胡国文, 陈永明. 水平遮阳板在建筑节能与采光分析中的综合应用[J]. 新型建筑材料, 2016, (5): 107—111.
- [17] Li Du, Hu Guowen, Chen Yongming. The comprehensive application of horizontal external shading based on building energy saving analysis and building lighting analysis[J]. New Building Material, 2016, (5): 107—111.

## ANALYSIS AND STUDY OF INFLUENCE OF ANGLE OF BUILDING HORIZONTAL EXTERNAL SUNSHADING BOARD ON HEAT TRANSFER EFFECT BETWEEN SUNSHADING BOARD AND EXTERIOR WINDOW

Li Du, Chen Yongming

*(School of Electrical Engineering, Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224001, China)*

**Abstract:** Based on the principles of heat transfer, the mathematics model is used to simulate and analyze the heat conduction, radiation heat transfer and convective heat transfer between building horizontal external sunshading board and exterior window, and obtain the curves of heat transfer effect with changing sunshading angle, at same time, Fluent software is used to verify the experiment, and conclude the variation regulation of heat transfer effect with changing sunshading angle.

**Keywords:** heat transfer; convection; radiation; energy conservation