

# 区域建筑冷负荷预测中的朝向因素分析及转换

苑翔<sup>a</sup>, 龙惟定<sup>b</sup>

(同济大学 a. 机械工程学院; b. 中德工程学院, 上海 200092)

**摘要:**通过对建筑墙体受太阳辐射得热的特性分析,把墙体所受太阳直射辐射得热量进行等效分解,在此基础上建立了建筑朝向转换规则,并以上海地区 2 种不同长宽比的实际建筑进行模拟分析,得到实际建筑与转换后建筑的冷负荷对比曲线,模拟结果显示,转换后的虚拟建筑冷负荷与实际建筑冷负荷有很好的吻合,建筑朝向对冷负荷影响的实质即为不同朝向的墙体面积和窗体面积的改变,在预测区域建筑冷负荷时,可以应用转换规则,把区域内建筑转换为同一朝向建筑进行分析,减少了朝向因素对冷负荷的影响。

**关键词:**建筑朝向;太阳辐射得热;等效分解;朝向转换;模拟分析;建筑冷负荷;再生能源

**中图分类号:**TU832.16 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2009)06-0096-06

## Parametric Analysis of Building Orientation in Forecasting Community Building Cooling Loads and It's Transformation Regulation

YUAN Xiang<sup>a</sup>, LONG Wei-ding<sup>b</sup>

(a. College of Mechanical Engineering; b. College of Sino-Germany Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, P. R. China)

**Abstract:** By parametric analysis of direct solar gain on building walls, equivalent decomposition was carried out for the direct solar gain. Upon this, building orientation transformation rules were proposed. Two types of buildings with different length-width ratio in Shanghai were taken as case studies with simulation. And comparison curves of different orientation between transformation ones and the formers were obtained. It was found that cooling loads of transformed buildings were in good agreement with those of real buildings, which implied that the essential of orientation's influence on cooling load was areas alteration of walls and windows in different orientations. By the transformation rules of building orientation, community buildings with different orientation can be transformed into those with the same orientation to predict community cooling loads, eliminating influences of the factor of building orientation.

**Key words:** building orientation; solar radiation heat gain; equivalent decomposition; orientation transformation; simulation; building cooling load; renewable energy

中国现阶段在城市区域规划中,城市能源的规划主要是城市供电、供热和供气 3 个方面,这 3 方面的规划往往是各自孤立地考虑,除了严寒和寒冷地区的区域供热之外,建筑物的采暖空调并不属于基础设施,而且主要依赖电力,此时就存在负荷重复计算的问题<sup>[1]</sup>。而在低碳城市建设中,为了集成应用可再生能源和“未利用能源(Untapped Energy)”,需

要在区域层面上考虑能源系统,需要在规划阶段对区域内所有建筑冷负荷有明确的预判,因此,准确预测区域建筑冷负荷从而避免规划时冷负荷过大是急需解决的问题。

建筑冷负荷主要由外扰冷负荷和内扰冷负荷两大部分组成,此外还有新风处理冷负荷。外扰冷负荷主要指建筑围护结构温差传热形成的冷负荷和太

收稿日期:2009-05-18

基金项目:美国能源基金会资助(G-0805-10156)

作者简介:苑翔(1978-),男,博士生,主要从事建筑节能、区域建筑能源规划方面研究,(E-mail)tj\_yxphds@163.com。

阳辐射得热形成的冷负荷。太阳辐射得热形成的冷负荷分布特性主要与建筑体形参数有关,包括建筑朝向、窗墙比、体形系数等因素<sup>[2]</sup>。研究区域建筑的冷负荷分布,需要将影响冷负荷的因素做解耦处理,分析每种因素对单体建筑冷负荷的影响规律,然后根据单因素的特性对区域内的建筑进行整合叠加,最后得到区域建筑冷负荷分布。

建筑朝向是影响建筑冷负荷的重要因素,其它条件相同而朝向不同的 2 座建筑,其峰值冷负荷大小和出现的时间是不相同的<sup>[3]</sup>。某区域内可能有多种朝向的建筑,若要对区域内的建筑进行整合,如果对每种朝向的建筑都进行冷负荷分析,建筑整合将会是不可能完成的工作,该文通过分析建筑所受太阳辐射得热的特性,改变建筑的墙体面积和窗体面积,建立一种虚拟建筑,将实际建筑的朝向转换为同一朝向,使得虚拟建筑与实际建筑有相同的冷负荷分布,从而在同一朝向下分析各建筑的冷负荷分布。

### 1 太阳直射辐射得热量的等效分解

在地球上任何一个地方,任意一种倾斜角为  $\gamma$  的平面上,获得的太阳总辐射强度等于该倾斜表面上接受的直射辐射强度和散射辐射强度的总和<sup>[4-5]</sup>,建筑朝向对于散射辐射强度的影响要比直射辐射强度小的多,可以简化地认为散射辐射对于不同朝向的墙体和玻璃窗是相同的<sup>[6]</sup>。

如图 1 所示,N-S 线代表方向为南北方向,有一垂直墙体  $ab$ ,墙体与东西方向的夹角为  $\alpha$ ,在此定义为墙体的朝向角,其范围  $0^\circ \leq \alpha < 180^\circ$ 。墙体中有窗体  $de$ ,墙体  $ab$  的面积为  $F$ ,窗体  $de$  的面积为  $W$ 。把  $ab$  分别向南北方向和东西方向投影,得到墙体  $cb$  和墙体  $ac$ ,面积分别为  $\alpha F_x \alpha$  和  $\alpha F_y \alpha$ ,其中  $F_x = F \cos \alpha$ ,  $F_y = F \sin \alpha$ ; 得到窗体  $d'e'$  和窗体  $d''e''$ ,面积分别为  $W_x$  和  $W_y$ ,其中  $W_x = W \cos \alpha$ ,  $W_y = W \sin \alpha$ 。

当太阳处在偏东方向即中午 12 时之前的时刻时,墙体所受的太阳直射辐射得热量为

$$Q_R = F I_N \cos \beta \cos \theta = F I_N \cos \beta \cos (A - \alpha) \quad (1)$$

式中,  $Q_R$  为墙体所接受的太阳直射辐射得热,  $W$ ;  $I_N$  为投射到玻璃表面上的太阳直射辐射强度,  $W/m^2$ ;  $\beta$  为太阳高度角;  $\theta$  为日墙方位角;  $A$  为太阳方位角,即太阳与南向的夹角,规定  $0^\circ \leq A \leq 90^\circ$ ;  $\alpha$  为墙体与东西方向的夹角,规定  $0^\circ \leq \alpha < 180^\circ$ 。把(1)式展开,可以得到

$$Q_R = F_x I_N \cos \beta \cos A + F_y I_N \cos \beta \sin A \quad (2)$$

同理,当太阳处在偏西方向即中午 12 时之后的时刻时,墙体所受的太阳直射辐射得热量为

$$Q_R = F_x I_N \cos \beta \cos A - F_y I_N \cos \beta \sin A \quad (3)$$

窗体所得的太阳直射辐射得热为

$Q_{R,W} = W_x I_N \cos \beta \cos A \pm W_y I_N \cos \beta \sin A$  (4)  
式(4)中,太阳处在中午 12 时之前的时刻为加号,太阳处在中午 12 时之后的时刻为减号。

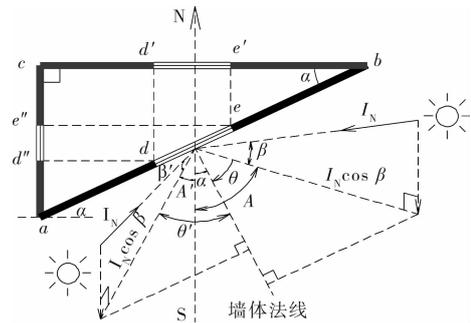


图 1 墙体所得太阳直射辐射得热的分解

由图 1 可以看出,与东西方向有一定夹角的墙体,其所受的太阳直射辐射得热量为其在东西方向和南北方向投影墙体所受直射辐射得热量的代数和。

由于朝向角不为零的墙体可以分解成朝向角为  $0^\circ$  的东西方向墙体和朝向角为  $90^\circ$  的南北方向墙体,则朝向不为南向或东西向的建筑可以等价地转换为南向或东西向的虚拟建筑来分析所受的太阳直射辐射得热量,从而分析建筑冷负荷的特性。

### 2 基于墙体分解的建筑朝向转换

#### 2.1 太阳入射角时区划分和建筑墙体转换

如图 2 所示的矩形建筑平面图,东西南北 4 个方向线作为坐标轴,E、W、S、N 分别代表东西南北 4 个方向。图中矩形  $abcd$  表示为一朝向偏东向的建筑,其长边  $ab$  与东西方向的夹角为  $\alpha$ ,在此定义矩形建筑长边与东西方向的夹角  $\alpha$  为建筑朝向角,其范围  $0^\circ \leq \alpha < 180^\circ$ 。

图 2 中  $OP$  和  $OQ$  分别为墙体  $ab$  和墙体  $ad$  的法线, $OP$ 、 $OQ$  和坐标轴线把坐标面的下半部分分隔为 4 个区域,分别记为 I 时区、II 时区、III 时区和 IV 时区,太阳直射射线在地面上的投影基本上落在这 4 个区域之内。图 3 为不同区域内太阳入射光线照射到建筑墙体上的情景,图中的  $A_i$  ( $i = I, II, III, IV$ ) 表示太阳入射光线所在区域的入射角,规定  $0^\circ \leq A_i < 90^\circ$ 。

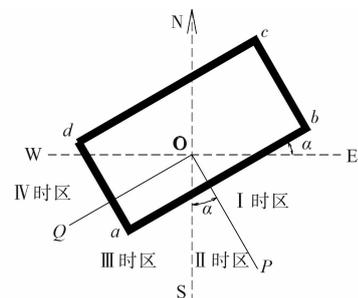


图 2 太阳入射角分区

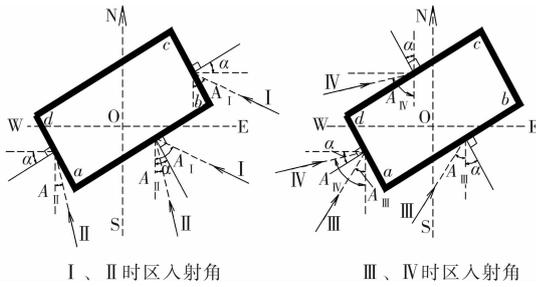


图 3 不同时区内太阳光线照射到墙体情景

设太阳直射辐射强度为  $I$ , 太阳高度角为  $\beta$ , 建筑物长边墙体立面面积为  $F_1$ , 短边墙体立面面积为  $F_2$ , 长边窗体面积为  $W_1$ , 短边窗体面积为  $W_2$ , 则入射角在 I 时区某时刻建筑物所受到的瞬时太阳直射辐射得热量为

$$Q_I = F_1 I \cos \beta \cos(A - \alpha) + F_2 I \cos \beta \cos(90^\circ - A + \alpha) \quad (5)$$

整理后, 可得

$$Q_I = F'_1 I \cos \beta \cos A_I + F'_2 I \cos \beta \sin A_I \quad (6)$$

其中,  $\begin{pmatrix} F'_1 \\ F'_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \end{pmatrix} = \mathbf{M}_I (F_1 \ F_2)^T$ ,

$F'_1$  为转换后东西向墙体面积 (I、II 时区为东向墙体; III、IV 时区为西向墙体),  $F'_2$  为转换后南北向墙体面积 (I、IV 时区为北向墙体; II、III 时区为南向墙体),  $\mathbf{M}$  称为墙体转换矩阵。

由式(6)可以得出, 太阳入射角在 I 时区时, 建筑墙体  $ab$  和  $bc$  所得太阳直射辐射得热量可以转换为东西方向的墙体和南北方向的墙体辐射得热量之和, 其面积  $F'_1$  和  $F'_2$  由墙体转换矩阵  $\mathbf{M}_I$  乘以墙体面积向量得到。

同理, 可以得到 II 时区、III 时区和 IV 时区的墙体

转换矩阵分别为  $\mathbf{M}_{II} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ \sin \alpha & -\cos \alpha \end{pmatrix}, \mathbf{M}_{III} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}, \mathbf{M}_{IV} = \begin{pmatrix} -\cos \alpha & \sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}$ 。

表 1 建筑窗体的转换规则

建筑朝向角 $\alpha$ ( $\tan \varphi = \frac{F_2}{F_1}$ )	东向窗体面积 $W'_1$	南向窗体面积 $W'_2$	西向窗体面积 $W'_3$
$0^\circ < \alpha \leq 90^\circ - \varphi$	$W_2 \sin \alpha + W_1 \cos \alpha$	$W_2 \cos \alpha + W_3 \sin \alpha$	$W_3 \cos \alpha + W_4 \sin \alpha - \tan \frac{\alpha}{2} \cos \alpha (W_2 + W_4)$
$90^\circ - \varphi < \alpha < 90^\circ$	$W_2 \sin \alpha + W_1 \cos \alpha$	$W_2 \cos \alpha + W_3 \sin \alpha - \tan(45^\circ - \frac{\alpha}{2}) \sin \alpha (W_2 + W_4)$	$W_3 \cos \alpha + W_4 \sin \alpha$
$90^\circ < \alpha \leq 180^\circ - \varphi$	$W_2 \sin \alpha - W_3 \cos \alpha$	$-W_4 \cos \alpha + W_3 \sin \alpha - \tan(\frac{\alpha}{2} - 45^\circ) \sin \alpha (W_2 + W_4)$	$-W_1 \cos \alpha + W_4 \sin \alpha$
$180^\circ - \varphi < \alpha < 180^\circ$	$-W_3 \cos \alpha + W_2 \sin \alpha + \cot \frac{\alpha}{2} \cos \alpha (W_2 + W_4)$	$-W_4 \cos \alpha + W_3 \sin \alpha$	$-W_1 \cos \alpha + W_4 \sin \alpha$

注: 北向窗体面积  $W'_4 = 0$

### 2.2 建筑朝向转换规则

在太阳直射辐射得热等效分解的基础上, 建立建筑朝向转换规则, 规则如下:

2.2.1 墙体转换规则 如图 4 所示的建筑平面图, 把建筑  $abcd$  各墙体在东西方向和南北方向分解, 得到建筑  $a'b'c'd'$ , 令  $\epsilon = \sin \alpha + \cos \alpha (90^\circ < \alpha < 180^\circ$  时,  $\epsilon = \sin \alpha - \cos \alpha$ ), 此时的建筑墙体面积为原建筑墙体面积的  $\epsilon$  倍, 为保证转换后的建筑墙体的温差传热和太阳散射辐射得热量与原建筑相等, 再把  $a'b'c'd'$  的墙体缩小  $\epsilon$  倍, 得到建筑  $a''b''c''d''$ , 建筑  $a''b''c''d''$  与建筑  $abcd$  有相同的墙体面积。

2.2.2 窗体转换规则 如图 4 所示, 图中建筑  $abcd$  中, 对角线  $ac$  与长边  $ac$  的夹角为  $\varphi (0 < \varphi \leq 45^\circ)$ , 则  $\tan \varphi = \frac{F_2}{F_1} (0 < \tan \varphi \leq 1)$ 。不同立面的窗体面积分别为  $W_1, W_2, W_3$  和  $W_4$ , 转换后的窗体面积分别为  $W'_1, W'_2, W'_3$  和  $W'_4$ 。

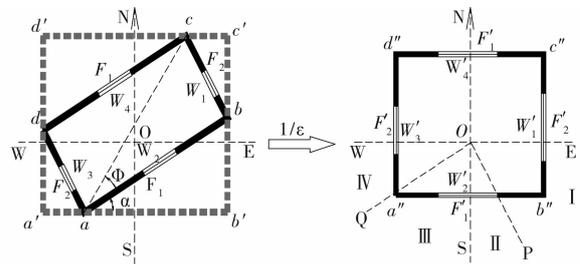


图 4 建筑朝向转换示意图

固定  $\alpha$  角, 根据整个建筑窗体所受到的太阳直射辐射得热量, 可以得到西向窗体面积取值范围  $W'_3 \in [W_3 \cos \alpha - W_2 \sin \alpha, W_3 \cos \alpha + W_4 \sin \alpha]$ ; 南向窗体面积  $W'_2 \in [W_3 \sin \alpha - W_4 \cos \alpha, W_3 \sin \alpha + W_2 \cos \alpha]$ 。在误差允许的范围内, 可近似地用  $F_1/F_2$  代替  $W_2/W_3$  和  $W_4/W_3$ 。当  $\alpha \leq 90^\circ - \varphi$  时, 选取  $90^\circ - \alpha$  与  $90^\circ$  之间的中间角  $90^\circ - \alpha/2$  作为  $A$  值, 当  $\alpha > 90^\circ - \varphi$  时, 选取  $0^\circ$  和  $90^\circ - \alpha$  之间的中间角  $45^\circ - \alpha/2$  作为  $A$  值。由此可以得出建筑窗体的转换规则, 如表 1 所示。

2.2.3 误差分析 建筑转换前后的冷负荷存在一定误差,误差主要存在于以下 2 个方面。

1)转换前后的屋面面积与地面的占地面积不相等引起的误差。对于层数比较多的建筑,屋面面积与立面面积相比所占的比例很小,由屋面引起的冷负荷误差是可以接受的;对于低层、大屋面建筑(比如商场、体育馆等),可以考虑采用修正系数对冷负荷修正,该文暂不考虑此类建筑。

2)为保证转换前后温差传热量和太阳直射辐射得热量不变,转换后的立面面积与转换前相等,导致转换后的立面所受到的太阳直射辐射得热量与转换前不相等,但由于各朝向墙体面积采取不同入射角时区的最大值,在一定程度上减小了误差损失。

### 3 实例验证

选取上海地区 2 座不同长宽比的建筑,每座建筑选取  $\alpha = 30^\circ、60^\circ、120^\circ、150^\circ$  等 4 个不同的朝向角,应用转换规则把各朝向的实际建筑转换为朝向角  $\alpha = 0^\circ$  的虚拟建筑,应用 DOE-2 计算软件做模拟分析,得到转换前和转换后的冷负荷分布曲线,选取每座建筑冷负荷峰值出现的前日和当日共 48 h 的冷负荷分布曲线作比较。所有建筑均采用相同的墙体材料和窗体材料,其中气象数据取自典型气象年数据。建筑墙体材料为 240 mm 厚普通砖墙,双面抹灰,65 mm 厚沥青膨胀珍珠岩保温层,墙体总传热系数 0.97 W/(m<sup>2</sup>·K),屋面传热系数 0.7 W/(m<sup>2</sup>·K),外

窗传热系数 3.0 W/(m<sup>2</sup>·K)<sup>[12]</sup>,各方向遮阳系数均为 0.45,无外遮阳,夏季室内空调设计温度为 25℃。设建筑内的空调面积与建筑面积相同,且温度均匀,建筑内部人员负荷、灯光负荷和新风负荷为零。

表 2 列出了选取建筑的体形参数与窗体面积。

表 2 建筑体形参数与窗体面积

长宽比	长度/ m	宽度/ m	高度/ m	窗体面积/m <sup>2</sup>			
				W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4</sub>
2:1	60	30	40	25.6	102.4	25.6	76.8
4:1	40	10	40	12.8	64	12.8	64

图 5、图 6 为 2 种不同的长宽比建筑转换前后的负荷曲线对比。由于冷负荷峰值出现的时刻集中在每日的 11 时至 17 时,所以选取曲线中每日这段时间的最大相对误差,表 3、表 4 分别为对应的各种角度的最大相对误差值。

表 3 长宽比为 2:1 建筑的转换前后冷负荷相对误差

建筑朝向角/°	$\alpha = 30$	$\alpha = 60$	$\alpha = 120$	$\alpha = 160$
最大相对误差/%	3.7	3.4	4.1	5.1

表 4 长宽比为 4:1 建筑的转换前后冷负荷相对误差

建筑朝向角/°	$\alpha = 30$	$\alpha = 60$	$\alpha = 120$	$\alpha = 160$
最大相对误差/%	2.4	5.8	5.7	3.9

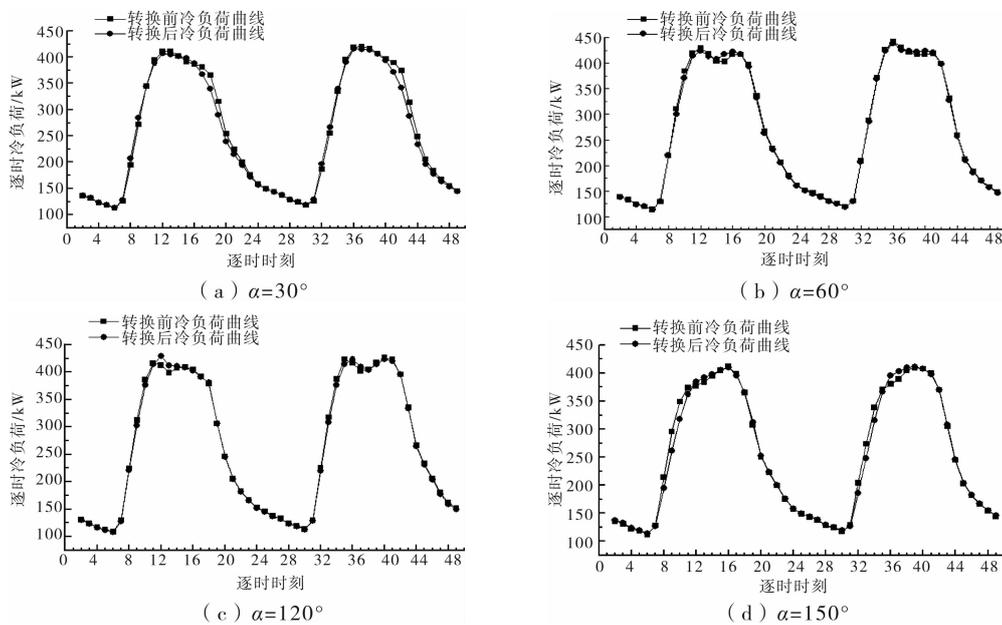


图 5 长宽比为 2:1 建筑的转换前后冷负荷曲线对比

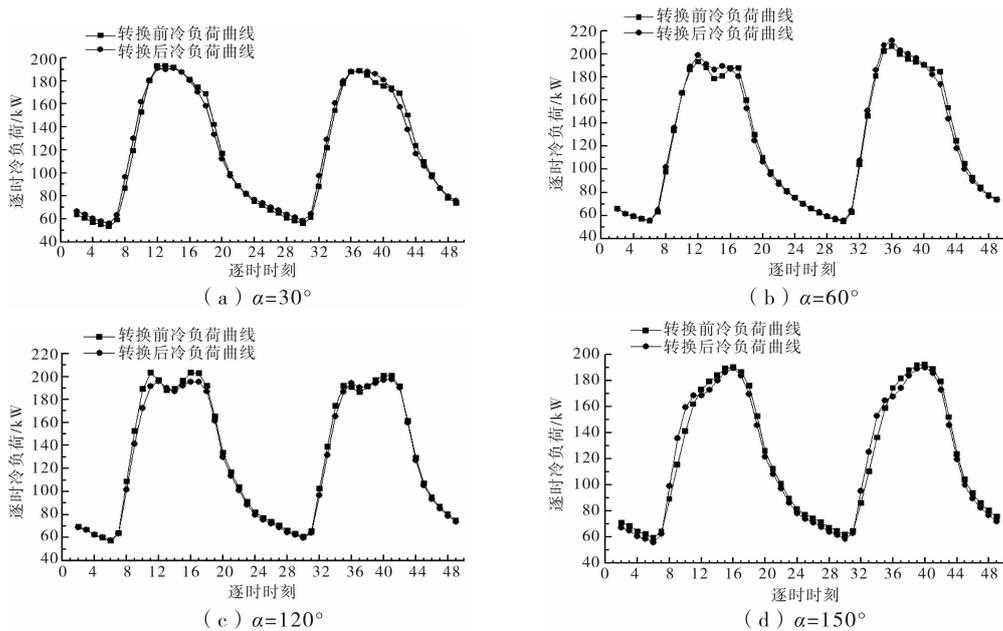


图 6 长宽比为 4:1 建筑的各朝向角冷负荷曲线对比

由 2 种不同长宽比建筑转换前后的冷负荷曲线对比及其相对误差可以看出, 11 时至 17 时时间段内, 转换后的冷负荷与实际建筑冷负荷的相对误差在 5% 左右, 在峰值负荷附近具有更小的相对误差, 由负荷分布曲线来看, 转换前后的负荷分布基本吻合, 且峰值出现的时刻是一致的, 表明对于区域级的建筑冷负荷预测, 转换后的建筑冷负荷误差能够满足工程要求。

由冷负荷对比曲线可以看到, 当  $\alpha < 90^\circ$  时, 峰值负荷出现在全天的 12 时左右; 当  $\alpha > 90^\circ$  时, 峰值负荷出现在全天的 16 时左右。由建筑的转换规则可以得到, 当  $\alpha < 90^\circ$  时, 转换后的建筑东向窗体的面积要远大于西向窗体的面积; 当  $\alpha > 90^\circ$  时, 转换后的建筑西向窗体的面积要远大于东向窗体的面积。以上分析表明: 建筑朝向偏东方向时, 相当于增加了东向的墙体和窗体面积, 建筑冷负荷峰值负荷出现的时间提前; 建筑朝向偏西方向时, 相当于增加了西向的墙体和窗体面积, 建筑冷负荷峰值负荷出现的时刻延迟。

## 4 结 语

通过对墙体所受太阳直射辐射得热量等效分解, 在墙体分解的基础上建立了建筑朝向转换规则, 并以上海地区实际建筑进行模拟分析, 得到实际建筑与虚拟建筑的冷负荷对比曲线, 模拟结果显示, 转换后的虚拟建筑冷负荷与实际建筑冷负荷有很好的吻合度, 可以对不同朝向的建筑进行朝向转换, 用虚拟建筑代替实际建筑进行冷负荷分析, 同时还可以

得到如下结论:

1) 建筑朝向改变的实质是改变了不同朝向的墙体面积和窗体面积比例。建筑朝向偏东方向时, 实质增加了东向的墙体面积和窗体面积, 减少了西向的墙体面积和窗体面积, 建筑冷负荷峰值时刻提前; 建筑朝向偏西方向时, 实质增加了西向的墙体面积和窗体面积, 增加了西向的墙体面积和窗体面积, 建筑冷负荷峰值时刻延迟。

2) 进行区域建筑冷负荷预测时, 可以通过把区域内所有建筑转换成同一朝向的建筑来分析, 其本质是把区域内建筑的朝向因素转换为改变不同朝向的窗墙比, 减少了影响冷负荷的因素。

## 参考文献:

- [1] 龙惟定, 白玮, 张改景, 等. 区域建筑能源规划: 建筑节能基础[J]. 建设科技, 2008(S1), 61-65.  
LONG WEI-DING, BAI WEI, ZHANG GAI-JING, et al. Community building energy planning; the base of energy efficiency [J]. Construction Science and Technology, 2008(S1), 61-65.
- [2] 龙惟定. 建筑节能与建筑能效管理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005: 49-51.
- [3] 姜益强, 张志强, 姚杨, 等. 用 EnergyPlus 模拟检验影响节能办公建筑的因素[J]. 建筑科学, 2006, 22(6): 22-26.  
JIANG YI-QIANG, ZHANG ZHI-QIANG, YAO YANG, et al. Simulation and verification of the factors impacting energy-saving office building using Energy plus software[J]. Building Science, 2006, 22(6): 22-26.
- [4] 彦启森, 赵庆珠. 建筑热过程[M]. 北京: 中国建筑工业

- 出版社,1986:30-31.
- [5] 陈沛霖,曹叔维,郭建雄. 空气调节负荷计算理论与方法[M]. 上海:同济大学出版社,1987:125-139.
- [6] MADHLOPA A, JOHNSTONE C. Model for computation of solar fraction in a single-slope solar still [EB/OL]. Sol. Energy(2009), doi:10.1016/j.sloener, 2008.12.002.
- [7] HAMDY K, ELMINIR A, AHMED E, et al. Optimum solar flat-plate collector slope: case study for Helwan, Egypt [J]. Energy Conversion and Management, 2006(47): 624-637.
- [8] 李永安. 太阳直射辐射和散射辐射的模拟及分离[J]. 山东建筑工程学院学报,1990,5(3):39-47.  
LI YONG-AN. The simulation and separation of direct and diffuse solar radiation[J]. J. Shandong Archit. & Civ. Eng. Inst,1990,5(3):39-47.
- [9] 孙汉群,傅抱璞. 对等辐照方位与建筑朝向的选择[J]. 地理学报,1999,54(1):83-90.  
SUN HAN-QUN, FU BAO-PU. Equivalent solar radiation azimuth and the selection of the direction of building exposure [J]. ACTA Geographica Sinica, 1999, 54(1): 83-90.
- [10] 简毅文,江亿. 窗墙比对住宅供暖空调总能耗的影响[J]. 暖通空调,2006,36(6):1-5.  
JIAN YI-WEN, JIANG Y. Influence of window-wall ratio on annual energy consumption for heating and air conditioning in residential buildings [J]. HV&AC, 2006,36(6):1-5.
- [11] 中国建筑科学研究院,中国建筑业协会建筑节能专业委员会. GB 50189-2005 公共建筑节能设计标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2005.
- [12] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1993:39-40.
- [13] KAMBEZIDIS H D, PSILOGLOU B E. Comparison between measurements and models for daily solar irradiation on tilted surfaces in Athens, Greece [J]. Renewable Energy,1997,10(4):505-518.
- [14] SUJOY PAL, BISWANATH ROY, SUBHASIS NEOGI. Heat transfer modelling on windows and glazing under the exposure of solar radiation [J]. Energy and Buildings, 2009(14): 654-661.
- [15] ANTONIO F, MIGUEL. Constructural design of solar energy-based systems for buildings [J]. Energy and Buildings, 2008 (40): 1020-1030.

(编辑 王秀玲)

(上接第95页)

- [6] 赵书杰. 夏热冬冷地区建筑遮阳技术应用的探讨[J]. 建筑科学,2006,22(6A):73-75.  
ZHAO SHU-JIE. Discussion on the application of building sun-shading technology in hot summer and cold winter zone[J]. Building Science, 2006, 22(6A):73-75.
- [7] 李峥嵘,夏麟. 基于能耗控制的建筑外百叶遮阳优化研究[J]. 暖通空调,2007,37(11):11-13.  
LI ZHENG-RONG, XIA LIN. Optimization of building external louver shading devices based on energy control [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2007, 37(11): 11-13.
- [8] 任俊,刘加平. 建筑能耗计算中外遮阳系数的研究[J]. 新型建筑材料,2005(4):27-29.  
REN JUN, LIU JIA-PING. Shading coefficient research in building energy calculating [J]. New Building Materials, 2005(4): 27-29.
- [9] 张磊,孟庆林. 华南理工大学人文馆屋顶空间遮阳设计[J]. 建筑学报,2004(8):70-71.  
MENG QING-LIN, ZHANG LEI. Rooftop shading design of the humanities building at SCUT [J]. Architectural Journal, 2004(8): 70-71.
- [10] 张磊. 建筑外遮阳系数的确定方法[D]. 广州:华南理工大学建筑学院,2004.
- [11] ISO 15099 Thermal Performance of Windows, Doors and Shading Devices-Detailed Calculations[S].
- [12] PFROMMER P, LOMAS K J, CHR KUPKE. Solar radiation transport through slat-type blinds: A new model and its application for thermal simulation of buildings[J]. Solar Energy, 1996, 52(2):77-91
- [13] SINGH M C. Different glazing systems and their impact on human thermal comfort-Indian scenario[J]. Building and Environment, 2008, 43(10): 1596-1602.
- [14] 彦启森. 建筑热过程[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1986.
- [15] 马京涛. 广州地区窗口外遮阳构造透光率分析[D]. 广州:华南理工大学建筑学院,2003.

(编辑 王秀玲)