

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2013.09.024

北外窗遮阳的必要性及遮阳设施的优化选择

陶求华^{1,2}, 李峥嵘¹, 蒋福建¹, 胡玲周¹

(1. 同济大学 机械与能源工程学院; 2. 集美大学 机械与能源工程学院)

摘要:首先分析了在空调季上海、厦门两地建筑各朝向表面的太阳直射和散射分布;其次,建立遮阳建筑模拟分析模型,利用 Energy-plus 软件,分析不同尺寸的固定遮阳板、不同性能的外遮阳卷帘以及不同倾角下的百叶对建筑北向房间的太阳辐射得热和建筑采光的影响,并对各种遮阳设施进行眩光分析,发现使用固定遮阳板和卷帘的眩光总小时数较多;最后,模拟分析北向房间外窗采用不同遮阳设施的全年建筑照明能耗和空调能耗;结果表明,上海地区北外窗采用中反射率-中透过率的卷帘节能效果最明显,可调百叶节能效果与卷帘接近,固定遮阳板节能效果不明显;厦门地区北外窗采用可调百叶节能效果最明显,高反射率-低透过率的卷帘次之,固定遮阳板节能效果最小;综合考虑节能效果和眩光,上海和厦门两地采用可调百叶遮阳效果最好。

关键词:北外窗;综合能耗;眩光分析;可调百叶;卷帘

中图分类号:

文献标志码:A

文章编号:1000-582X(2013)09-151-08

Necessity of shading on north facade and optimal selection of shading device

TAO Qiuhua^{1,2}, LI Zhengrong¹, JIANG Fujian¹, HU Lingzhou¹

(1. School of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. College of Mechanical and Energy Engineering, Jimei University, Xiamen, Fujian 361021, China)

Abstract: This research is aimed at exploring the necessity of shade on the north facade and optimal selection of shading device. Firstly, the direct and diffuse solar radiation distribution on the surface of each orientation is analyzed in the air conditioning period in Shanghai and Xiamen. Secondly, the simulated building model is established to analysis the impact of different external shades on solar radiation heat gain and day-lighting with Energy-plus. These shades include fixed overhang of different dimensions, roller with different properties and louver of different slat angles. The glare index of different shade devices is also analyzed, results show that the hours exceeding the glare index set point of the fixed overhang and roller are far more than louver's. Finally, the impact of different external shades on lighting energy consumption and air conditioning energy consumption on the north facades is analyzed. Results show that the use of medium-reflect and medium-transmit external roller is the most energy-saving in Shanghai, the effect of adjustable external blind is close to the roller, and the effect of fixed overhang is not obvious. In Xiamen, the use of adjustable external blind is the most energy-saving, the next is roller, and the last is fixed overhang. Taking energy-saving and glare into consideration, adjustable louver is the best choice of shade on the north facade in Shanghai and Xiamen.

收稿日期:2013-03-01

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51278349);福建省能源清洁利用与开发重点实验室开放基金资助项目

作者简介:陶求华(1981-)男,讲师,博士研究生,主要从事暖通空调以及建筑节能方面的研究。

李峥嵘(联系人),女,同济大学教授,博士生导师,(E-mail)lizhengrong@tongji.edu.cn.

Key words: north external facade; overall energy consumption; glare analyze; adjustable louver; roller

太阳辐射是影响室内环境的重要因素之一,它不仅会使热量进入室内,从而增加空调能耗,也和室内的照明能耗有着密切的关系。遮阳是对太阳光的一种合理利用,一方面,遮阳阻挡阳光直射辐射和漫辐射得热,控制热量进入室内,降低室温、改善室内热环境,使空调高峰负荷大大削减;另一方面,通过调节适量的阳光进入室内,有利于人体视觉功效的高效发挥和生理机能的正常运行,让人感到舒适,给人愉悦的心理感受。在建筑设计中考虑日照调节最早是由勒·柯布西耶在1922年提出的,此后的近半个世纪,由他提出的百页遮阳系统风靡一时,建筑中的排除太阳热量方案成为建筑设计立意源泉^[1]。遮阳设施有非常多种:固定外遮阳板,遮阳卷帘,遮阳百叶等^[2]。

国内建筑节能设计标准^[3-6]对各朝向外窗遮阳做了具体规定:《民用建筑热工设计规范》规定,向阳面,特别是东、西向窗户应采取热反射玻璃、反射阳光涂膜、各种固定式和活动式遮阳等有效的遮阳设施;《公共建筑节能设计标准》对建筑各朝向外窗的窗墙比和遮阳系数做了详细的规定;《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》对建筑各朝向东、南、西向窗墙比和遮阳系数做了规定,而对北向只对窗墙比做了规定,对遮阳系数未作要求,条文解释的理由是不同朝向墙面的太阳辐射强度的峰值东西向最大,北向最小。

国内学者对北向外窗遮阳进行了开展了广泛的研究:衣健光^[7]利用 Ecotect 模拟(全阴天模型)分析上海地区百叶外遮阳对东、南、西、北4个朝向太阳直射辐射得热及遮阳系数的影响,认为上海地区南向及北向不需要设置外遮阳;金宁等^[8]使用投影变化法得到各遮阳设施在各朝向在窗面的阴影面积,进行负荷计算,认为北向由于窗口不受太阳直射,没有遮阳效果;阳江英等^[9]采用 Visual-DOE 分析各朝向遮阳系数与建筑总能耗的关系认为建筑总能耗随各朝向遮阳系数呈正线性关系,增大幅度依次为:北向 < 南向 < 西向 < 东向。刘甜甜^[10]使用 DeST 对建筑不同朝向不同遮阳系数的能耗进行模拟,认为水平遮阳在南向效果比较明显,北向次之,东西两向则效果不好;以上研究都主要关注遮阳在隔热方面的作用,未涉及采光照明的分析。胡平放等^[11]以兼顾夏季遮阳和冬季日照为原则提出了武汉地区居住建筑南向水平遮阳和北向垂直遮阳构件尺寸的确定方法。

总体来讲,目前国内学者关于北外窗是否要遮阳存在分歧,未能综合建筑照明能耗和空调、采暖能

耗进行全面分析,本文选取夏热冬冷地区的上海和夏热冬暖地区的厦门为研究对象,利用 Energy-plus 软件,分析不同尺寸的固定遮阳板、不同性能的外遮阳卷帘以及在不同倾角下(5°~175°)的百叶对建筑北向房间的全年建筑照明能耗和空调能耗的影响,探索建筑北向外窗遮阳的必要性及遮阳设施的最优化选择,给北向外窗遮阳的选用和运行提供参考。

1 外表面太阳辐射分布

建筑各朝向太阳辐射分布规律对遮阳设施的选取有很大的影响,正确计算建筑外表面太阳辐射是基础。建筑外表面的太阳辐射包括:太阳直射辐射、天空散射辐射、地面反射散射辐射、周围建筑反射散射辐射、长波辐射等^[12]。利用 Energy-plus 软件计算,软件采用的是 Zhang-Huang 太阳辐射模型^[13]和 Perez^[14]天空辐射模型,通过计算得到了无遮阳情形下上海、厦门地区建筑各朝向外表面太阳辐射分布。上海空调季(5月1日—10月15日)各朝向单位面积太阳辐射分布见图1。

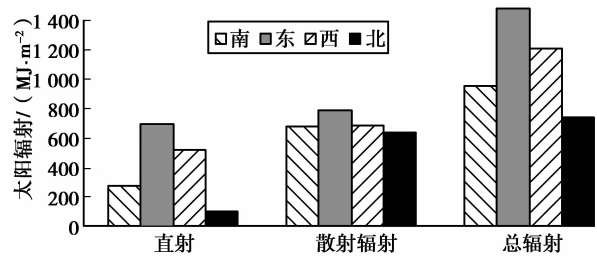


图1 上海地区空调季各朝向单位面积太阳辐射分布

从图1可以看出,北向直射辐射明显低于其他朝向,如果遮阳设施只能遮挡太阳直射,遮阳效果比较差,可以认为北向无需遮阳。上海地区北向总辐射为东向的50%,用类似方法可以得到厦门地区北向总辐射为东向的73%。但是从上图也可以看出,各个朝向的散射辐射基本相同,占各自朝向太阳辐射的比例较大,上海地区北向散射辐射占总辐射86%,厦门为89%;如果遮阳设施能够有效阻挡散射辐射,将能大大降低空调房间,尤其是有北外窗的空调房间的太阳辐射得热量。

2 遮阳设施光热环境模拟

2.1 建筑模拟模型

模拟模型是一栋3层办公楼,见图1,每层9间办公室,每间办公室的几何尺寸为长6 m,宽6 m,层高4 m。为消除外墙、地面、屋顶带来的影响,取第2

层北向中间房间为对象,窗户尺寸为 $4\text{ m}\times 1.8\text{ m}=7.2\text{ m}^2$,根据上述数据,该模拟房间的窗墙比为0.30,窗地比为0.20,符合国内建筑采光的相关标准^[15]。

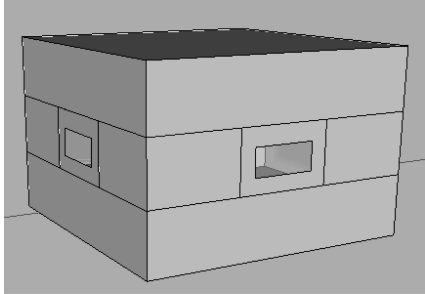


图2 遮阳建筑模拟模型

建筑主要围护结构热工参数见表1,符合节能设计规范的要求^[6]。

表1 建筑围护结构热工参数表

| 结构名称 | 材料 | 传热系数/ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$) |
|------|----------------------|---|
| 外墙 | 20 m 抹灰+240 mm 砖墙+ | 0.65 |
| | 25 mm保温板+20 mm 抹灰 | |
| 内墙 | 240 mm 砖墙两面各抹灰 20 mm | 1.39 |
| 屋顶 | 20 mm 吸声瓦+100 mm 加气 | 1.16 |
| | 砂浆混凝土 | |
| 楼板 | 15 mm 水泥砂浆+100 mm 轻 | 1.12 |
| | 质混凝土+10 mm 保温板 | |
| 窗 | 铝合金双层窗(3 mm 厚、无色) | 2.35 |

所要研究的遮阳方式为:固定遮阳板、遮阳卷帘、百叶3类。

固定遮阳板见图3,本次模拟的尺寸 $A=300$ 、 600 、 900 mm , $B=1\ 800\text{ mm}$;

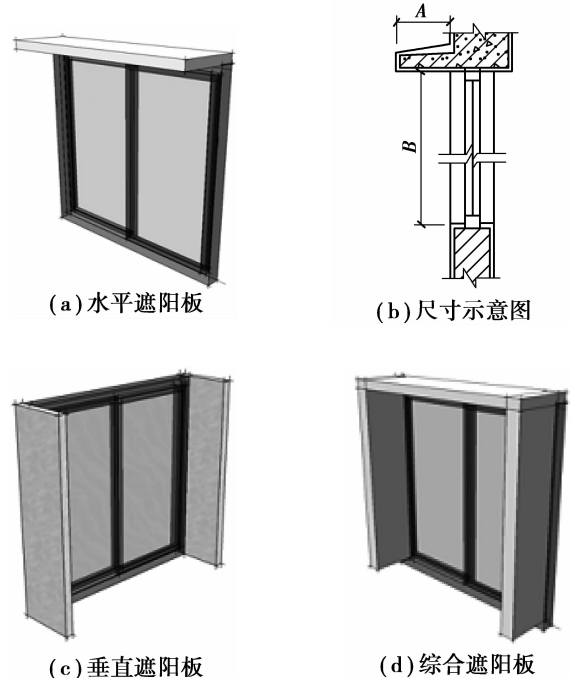


图3 固定遮阳板示意图

6种不同性能的外遮阳卷帘,其热工性能和光学性能见表2。使用遮阳卷帘的优点是冬季需要更多太阳辐射时可以拉起卷帘,夏季夜晚可以拉起卷帘加快房间散热。模拟时,设置遮阳卷帘工作时间为5月1日—10月15日,8:00—18:00。

表2 外遮阳卷帘的热工性能和光学性能

| 性能参数 | 卷帘类型 | | | | | |
|--------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | 高反射率 低透过率 (HRLT) | 中反射率 中透过率 (MRMT) | 中反射率 低透过率 (MRLT) | 低反射率 高透过率 (LRHT) | 低反射率 中透过率 (LRMT) | 低反射率 低透过率 (LRLT) |
| 太阳能透过率 | 0.1 | 0.4 | 0.1 | 0.7 | 0.4 | 0.1 |
| 太阳能反射率 | 0.8 | 0.5 | 0.5 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| 可见光透过率 | 0.1 | 0.4 | 0.1 | 0.7 | 0.4 | 0.1 |
| 可见光反射率 | 0.8 | 0.5 | 0.5 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |

两种遮阳百叶,小百叶:叶片宽度25 mm,叶片间距18.75 mm,百叶与玻璃间距为50 mm;大百叶:叶片宽度200 mm,叶片间距200 mm,百叶与玻

璃间距为100 mm;百叶的直射、散射反射率为0.8。设置百叶倾角从 5° 变化到 175° ,见图4,模拟分析在19种固定倾角下的全年建筑照明能耗和空调能耗。

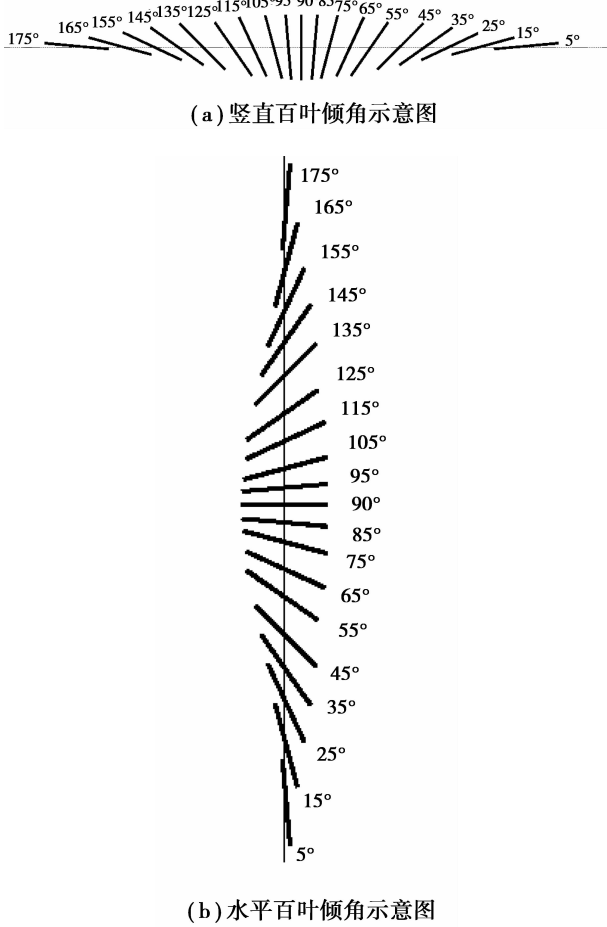


图 4 北向外窗百叶倾角示意图

2.2 模拟工况说明

本研究使用上海和厦门两地的典型气象年(CSWD)逐时气象数据进行模拟计算;房间人员密度为 0.1 人/m²,灯光产热量为 11 W/m²,针对该办公楼的使用性质,设定工作日每天早晨 8:00 至 18:00 的人员在室率为 1,其余时间为 0。根据文献[16],在考虑基于自然采光的照明调光时,把各朝向房间分为两个分区,第一个分区为高自然采光区(接近窗口,通常不需人工照明,图 5 为使用中反射率、中透过率卷帘情形下,离窗 1、2、3 m 处的自然采光照度),覆盖从窗户向内至 1.5 倍窗高的范围,占房间面积 45%;其他性能的卷帘有类似的变化规律。

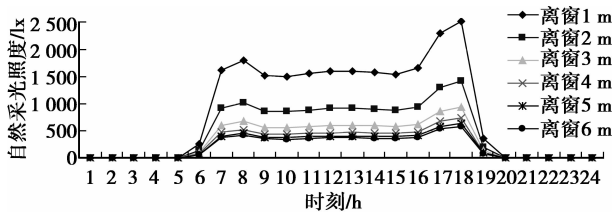


图 5 北向房间采用中反射率、中透过率外遮阳卷帘各参考点照度(上海,7月21日)

第二个分区为低自然采光区,覆盖房间剩余区域,占房间面积 55%;两个分区的照明设备依据各自参考点的照度确定室内人工照明调光,参考点均位于工作面,距楼板 0.8 m 高处;第一分区的参考点离窗 2.7 m,第二分区的参考点离窗 5 m(见图 5,离窗 4、5、6 m 处自然采光照度较接近);参考点的设计照度取 300 lx^[17],房间尽量采用自然采光,若参考点自然采光照度不足 300 lx,则开启人工照明进行补充。自然采光分区和参考点示意图见图 6。

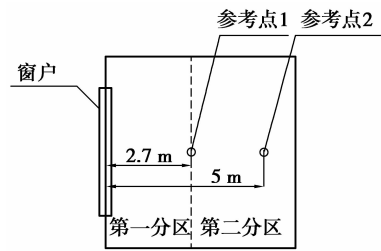


图 6 自然采光分区和参考点示意图

2.3 空调方式及空调设计参数

在空调设备选择上,采用热泵式直接膨胀式空调,制冷额定能效比为 3.0,制热额定能效比为 2.7,夏季室内设计计算温度 26 °C,冬季室内设计计算温度 18 °C。空调开启时间 8:00~18:00,渗透风量设置为 0.25 次/h。

3 遮阳对北向得热和采光的影响分析

3.1 遮阳对北向外窗得热的影响(以上海为例)

根据文献[16],通过外窗太阳辐射得热 Q_s 由直射辐射得热 Q_b 和散射辐射得热 Q_d 两部分组成, $Q_s = Q_b + Q_d$,直射辐射得热 Q_b 由直射辐射透过部分 Q_{bt} 和玻璃吸热后由于对流和辐射向房间内部传导 Q_{ba} 两部分组成, $Q_b = Q_{bt} + Q_{ba}$;而散射辐射得热 Q_d 由散射辐射透过部分 Q_{dt} 和玻璃吸热后由于对流和辐射向房间内部传导 Q_{da} 两部分组成, $Q_d = Q_{dt} + Q_{da}$ 。考察上海地区空调季(5月1日—10月15日)北向外窗无遮阳和有遮阳工况下,由于太阳直射和散射引起的太阳辐射得热,见图 7。

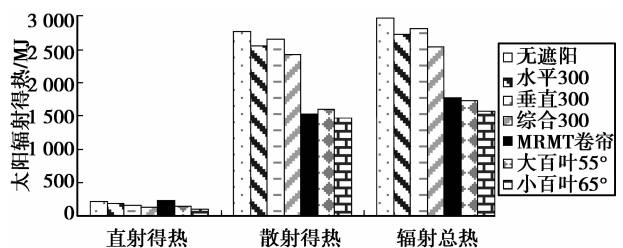


图 7 外遮阳对太阳辐射得热的削减

从图7可以看出,由于固定挡板遮阳对削弱太阳直射比较有效(13%~40%),而对散射辐射的削弱不多(4%~12%),所以固定挡板遮阳对北向外窗太阳总辐射得热的削弱不明显(5%~15%),而卷帘和百叶遮阳则非常显著(41%~47%)。

3.2 遮阳对空调季北向自然采光的影响

从窗口进入照射到室内某点的光照度 I_{win} , 计算公式如下^[18]:

$$I_{win} = d_{sun} E_{h,sun} + d_{sky} E_{h,sky} \quad (1)$$

式中: I_{win} 为从窗口进入照射到室内光照度, lx; d_{sun} 、 d_{sky} 为太阳和天空室内自然采光照度系数; $E_{h,sun}$ 、 $E_{h,sky}$ 为太阳和天空室外水平面照度, lx。

在空调季(5月1日—10月15日)遮阳设施削弱了各个参考点的平均自然光照度, 见图8。

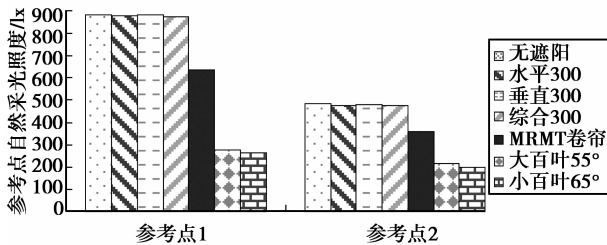


图8 外遮阳对北向房间参考点平均自然采光照度的影响

由图8可见,采用固定挡板遮阳对北向房间照度的影响很小,使用卷帘使得北向房间参考点平均自然采光照度减小26%、28%,使用百叶遮阳使得北

向房间参考点平均自然采光照度减小55%~70%,这势必增加北向房间的照明能耗。

3.3 眩光分析

建筑采用窗口自然采光时,若在窗口和窗口周围的内表面间存在较大的照度差时容易产生不舒适感。不舒适眩光是指由于视野内高亮度光源的存在而引起人们注意力不集中、昏眩、烦恼等心理和生理上不舒适感的现象^[19]。室内某个参考点由于窗口和窗口周围的内表面间存在照度差所产生的不舒适眩光计算公式如下^[20-21]:

$$G = \frac{L_{1.6w} \Omega^{0.8}}{L_b + 0.07 \omega^{0.5} L_w} \quad (2)$$

式中: G 为不舒适眩光指数; L_w 为从参考点观察,通过窗户产生的平均亮度, cd/m^2 ; Ω 为窗口对观察者眼睛所张的立体角,考虑视线方向, sr ; L_b 为背景亮度, cd/m^2 ; ω 为窗口对参考点所张的立体角, sr 。

对于室内某参考点,用上海和厦门两地的典型气象年辐射资料计算该点在某时刻的不舒适眩光指数。根据文献^[18]办公建筑不舒适眩光指数(DGI)上限为22,将Energy-plus计算出的不舒适眩光指数与设定的不舒适眩光指数上限进行比较,若不舒适眩光指数大于22,则认为该时刻为不舒适时刻。

分析固定遮阳板、卷帘和百叶三种情形下北向房间的不舒适眩光总小时数,见表3。

表3 不同遮阳设施的不舒适眩光总小时数

| 参考点 | 上海遮阳方式 | | | 厦门遮阳方式 | | |
|------------------|----------------|------------------|-------------|--------------|------------------|-------------|
| | 300 mm 垂直固定遮阳板 | LRMT 卷帘 (全年/空调季) | 200 mm 垂直百叶 | 300 mm 固定遮阳板 | LRMT 卷帘 (全年/空调季) | 200 mm 垂直百叶 |
| 参考点1 不舒适眩光总小时数/h | 2 400 | 1333/133 | 0 | 3 134 | 1 626/150 | 0 |

由表3可见,采用固定挡板、卷帘遮阳眩光严重。其中,卷帘在空调季的不舒适眩光小时数为133和150;其余不舒适眩光来源于卷帘处于拉起状态。

4 空调与照明能耗计算及分析

采用Energy-plus软件,模拟得到全年8 760 h

的逐时照明能耗、空调能耗。无遮阳时,上海、厦门地区北向房间年综合能耗分别为1 668、1 691 kWh,以下的能耗分析均以无遮阳时能耗为基准;表4为上海、厦门两地的北向外窗采用固定遮阳板的节能率。

表4 采用固定遮阳板的节能率 %

| 参考点 | 上海遮阳方式 | | | 厦门遮阳方式 | | |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 300 mm | 600 mm | 900 mm | 300 mm | 600 mm | 900 mm |
| 水平固定遮阳板 | 2.4 | 3.3 | 3.8 | 5.6 | 8.5 | 10.1 |
| 垂直固定遮阳板 | 2.6 | 4.2 | 5.0 | 5.0 | 8.0 | 9.1 |
| 综合固定遮阳板 | 4.8 | 5.9 | 6.9 | 9.9 | 13.8 | 16.0 |

由表4可见,上海地区北向直射辐射较小,水平遮阳节能效果比较小;垂直遮阳能遮挡更多的直射,节能效果稍有改善;综合遮阳节能效果最大,最高达6.9%,厦门地区也有类似的规律,相对于上海,北向房间外窗

采用最简单的挡板遮阳的节能效果就很明显了,尺寸为300 mm的综合遮阳,节能率就高达9.9%。

表5为上海、厦门两地的北向外窗采用不同性能卷帘的节能率。

表5 采用6种不同性能卷帘的节能率 %

| 地区 | 卷帘类型 | | | | | |
|----|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | 高反射率 低透过率 (HRLT) | 中反射率 中透过率 (MRMT) | 中反射率 低透过率 (MRLT) | 低反射率 高透过率 (LRHT) | 低反射率 中透过率 (LRMT) | 低反射率 低透过率 (LRLT) |
| 上海 | 3.1 | 10.2 | -0.5 | 1.6 | 8.0 | -3.7 |
| 厦门 | 18.1 | 18.0 | 11.5 | 3.1 | 14.8 | 18.1 |

由表5可见,上海地区建筑北向房间由于其太阳直射和散射的分布特点使得不同性能的遮阳卷帘下照明、空调综合能耗有增有减,其中使用中反射率-中透过率的卷帘节能效果最明显,节能10.2%;而使用中反射-低透过率或低反射率-低透过率卷帘会使得房间综合能耗增加。厦门地区建筑北向房间采用遮阳卷帘的遮阳效果非常明显,采用低反射率-高透过率效果最差。

采用Energy-Plus软件,模拟得到北向房间采用不同倾角百叶的全年8760小时的逐时照明能耗、空调能耗。图9为上海北向房间外窗采用竖直大百叶和小百叶在19种倾角下(5°~175°)的全年建筑照明、空调综合能耗。

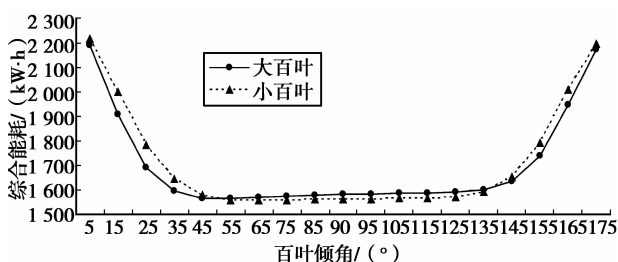


图9 综合能耗随着百叶倾角的变化

从图9可见,上海地区建筑北向外窗垂直大、小百叶在55°,65°倾角时能耗最低,百叶角度小于35°或大于155°会急剧增加综合能耗,而百叶角度在45°~115°之间时,北向房间综合能耗对百叶角度不是很敏感。大百叶的节能效果与小百叶相差不多,节能率分别为6.2%,6.8%。一般采用的百叶角度都是可以手动或者自动调节,分析大百叶倾角在上述19种倾角下的8760h逐时能耗,对每小时最小综合能耗所在的倾角进行统计,可以发现在空调季(5月1日~10月15日)综合能耗最小的百叶倾角为35°的小时数居多,10月16日至次年4月29日综合能耗最小的百叶倾角为85°的小时数也较多,所以分别设置两个时期百叶倾角为35°与85°,模拟得到综合能耗,这样年节能率将达到8.9%;相同情形下小百叶节能率将达到9.7%。

厦门地区北向外窗垂直百叶遮阳有类似的规律:北向外窗垂直大、小百叶在45°,55°倾角时能耗最低;同时也可以看出,百叶角度小于35°和大于135°会急剧增加综合能耗,而百叶角度在85°~125°之间时,北向房间综合能耗对百叶角度不是很敏感。大百叶的节能效果与小百叶相差不多,节能率分别为17%,17.4%。若北向大百叶空调季5月1日至

10月15日倾角设置为 35° ,10月16日至次年4月29日设置为 85° ,年节能率将达到18.9%。

由以上分析可知,上海地区北外窗采用中反射率-中透过率的卷帘节能效果最明显,可调百叶节能效果与卷帘非常接近,固定遮阳板节能效果不明显;厦门地区北外窗采用变化百叶节能效果最明显,高反射率-低透过率的卷帘次之,固定遮阳板节能效果最小。综合考虑节能效果和眩光带来的不舒适性,上海和厦门两地采用百叶遮阳效果最好。

5 结论

1)上海、厦门两地北向直射辐射明显低于其他朝向,如果遮阳设施只能遮挡太阳直射,可以认为北向无需遮阳;但北向散射辐射的比例较大,上海地区北向散射辐射占总辐射86%,厦门为89%;如果遮阳设施能够有效阻挡散射辐射,将能大大降低北向房间的太阳辐射得热量。

2)由于固定挡板遮阳对削弱太阳直射比较有效(13%~40%),而对散射辐射的削弱不多(4%~12.5%),所以固定挡板遮阳对北向外窗太阳总辐射得热的削弱不明显(5%~15%),而卷帘和百叶遮阳则非常显著(41%~47%);

3)采用固定挡板遮阳对北向房间照度的影响很小,使用卷帘使得北向房间参考点平均自然采光照度减小26%、28%,使用百叶遮阳使得北向房间参考点平均自然采光照度减小55%~70%,这势必增加北向房间的照明能耗。

4)上海地区北外窗采用中反射率-中透过率的卷帘节能效果最明显,采用可调百叶节能效果与卷帘非常接近,固定遮阳板节能效果不明显;厦门地区北外窗采用可调百叶节能效果最明显,高反射率-低透过率的卷帘次之,固定遮阳板节能效果最小。采用相同的遮阳设施,厦门比上海的节能效果更显著。

5)采用固定挡板、卷帘遮阳眩光严重,综合考虑节能效果和自然采光舒适性,上海和厦门两地采用可调百叶遮阳效果最好。

参考文献:

- [1] 贾若芹,董奇英. 节能建筑的百叶遮阳系统[J]. 建筑科学, 2011, 27(Sup2): 101-103.
JIA Ruojin, DONG Qiyang. The shutter system of energy-conservation architecture [J]. Building Science, 2011, 27(Sup2): 101-103.
- [2] 李峥嵘,赵群,展磊. 建筑遮阳与节能[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [3] 中国建筑科学研究院重庆大学. JGJ134-2001 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [4] 中国建筑科学研究院. JGJ75-2003 夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [5] 中华人民共和国建设部. GB 50176-1993 民用建筑热工设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 1993.
- [6] 中华人民共和国建设部. 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.
- [7] 衣健光. 上海地区水平固定百页型外遮阳节能效果研究[J]. 建筑节能, 2011, 39(8): 38-40.
YI Jianguang. Energy-saving of fixed horizontal shading louvers in Shanghai [J]. Construction Conserves Energy, 2011, 39(8): 38-40.
- [8] 金宁,严庆翱. 上海某图书馆建筑内外遮阳负荷研究[J]. 能源研究与信息, 2009, 25(1): 17-21.
JIN Ning, YAN Qing'ao. Research on the building exterior shading load of a public library in Shanghai [J]. Energy Research and Information, 2009, 25(1): 17-21.
- [9] 阳江英,杨丽莉,吕忠,等. 重庆地区外窗遮阳能效模拟分析[J]. 建筑节能, 2008, 36(9): 66-69.
YANG Jiangying, YANG Lili, Lü Zhong, et al. Simulation analysis on energy efficiency of the external window shading in Chongqing area [J]. Construction Conserves Energy, 2008, 36(9): 66-69.
- [10] 刘甜甜. 北京地区建筑能耗分析与遮阳制品优化选择[D]. 北京: 北京工业大学硕士学位论文, 2010.
- [11] 胡平放,冷御寒,江章宁. 武汉地区居住建筑遮阳现状分析[J]. 暖通空调, 2005, 35(12): 73-76.
HU Pingfang, LENG Yuhang, JIANG Zhangning. Status of window shading in residential buildings in Wuhan [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2005, 35(12): 73-76.
- [12] 张野,谢晓娜,罗涛,等. 建筑环境设计模拟分析软件 DeST: 第4讲 建筑热过程中的太阳辐射相关模型[J]. 暖通空调, 2004, 34(10): 55-64.
ZHANG Ye, XIE Xiaona, LUO Tao, et al. Building environment design simulation software DeST(4): solar radiation related models in building thermal process [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2004, 34(10): 55-64.
- [13] Zhang Q Y, Huang J, Lang S W. Development of typical year weather data for Chinese location [J]. Transactions of the American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, 2002, 108 (2): 1063-1075.
- [14] Perez R, Ineichen P, Seals R, et al. Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance [J]. Solar Energy, 1990, 44 (5):

- 271-289.
- [15] 中华人民共和国建设部. GB/T 50033-2001 建筑采光设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [16] Parsons R, Kuehn T H, Couvillion R J, et al. 2005 ASHRAE handbook: fundamentals [M]. Atlanta: American Society of Heating, 2005.
- [17] 中华人民共和国建设部. GB 50034-2004 建筑照明设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [18] The U. S. Department of Energy. Energyplus engineering reference: the reference to energyplus calculations [EB/OL]. [2012-01-12]. <http://zh.scribd.com/doc/49752237/EnergyPlus>.
- [19] Tuaycharoen N, Tregenza P R. View and discomfort glare from windows [J]. *Lighting Research and Technology*, 2007, 39(2):185-200.
- [20] Hopkinson R G. Glare from daylighting in buildings[J]. *Applied Ergonomics*, 1972, 3(4):206-215.
- [21] Nazzal A A. A new evaluation method for daylight discomfort glare[J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2005, 35(4): 295-306.

(编辑 郑洁)

~~~~~

(上接第 126 页)

- [9] Sohn H Y. The effects of reactant starvation and mass transfer in the rate measurement of fluid - solid reactions with small equilibrium constants[J]. *Chemical Engineering Science*, 2004, 59(20): 4361-4368.
- [10] Wu S L, Xu J, Yang S D, et al. Basic characteristics of the shaft furnace of COREX smelting reduction process based on iron oxides reduction simulation [J]. *ISIJ International*, 2010, 50(7): 1032-1039.
- [11] Yang K, Choi S, Chung J, et al. Numerical modeling of reaction and flow characteristics in a blast furnace with consideration of layered burden[J]. *ISIJ International*, 2010, 50(7): 972-980.
- [12] Dong X F, Yu A B, Yagi J, et al. Modelling of multiphase flow in a blast furnace: recent developments and future work[J]. *ISIJ International*, 2007, 47(11): 1553-1570.
- [13] Chuang H C, Kuo J H, Huang C C, et al. Multi-phase flow simulations in direct iron ore smelting reduction process [J]. *ISIJ international*, 2006, 46 ( 8 ): 1158-1164.
- [14] Chu M S, Nogami H, Yagi J. Numerical analysis on blast furnace performance under operation with top gas recycling and carbon composite agglomerates charging [J]. *ISIJ International*, 2004, 44(12): 2159-2167.
- [15] 沈颐身, 李保卫, 吴懋林. 冶金传输原理基础[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2001.
- [16] Coulson J M, Richardson J F, Backhurst J R, et al. *Chemical Engineering*, 1B, heat transfer and mass transfer [M]. 6th ed. 大连: 大连理工大学出版社, 2008.
- [17] 王淑兰. 物理化学[M]. 3 版. 北京: 冶金工业出版社, 2007.
- [18] 梁英教. 物理化学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2005.
- [19] 陶文铨. 数值传热学 [M]. 2 版. 西安: 西安交通大学出版社, 2001.

(编辑 王维朗)