

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2018.02.020



夏热冬暖地区变电站建筑外遮阳的双目标优化

李令令¹, 孟庆林¹, 张磊¹, 孟庆伟², 潘静丽³

(1. 华南理工大学 建筑学院; 亚热带建筑科学国家重点实验室, 广州 510640;

2. 梅河口市阜康酒精有限责任公司, 吉林 梅河口 135000; 3. 佛山电力设计院有限公司, 广东 佛山 528200)

摘要: 变电站建筑不仅要满足精密设备的运行要求, 还要满足人员的工作使用要求, 其外遮阳的设计要兼顾节能和室内自然采光的要求。以夏热冬暖地区某典型变电站建筑的主控通信楼为例, 采用相关能耗和采光模拟软件, 模拟分析该建筑在不同遮阳设施工况下建筑能耗和室内采光的变化, 以建筑节能率和采光系数标准值为评价指标, 得出其尺寸设计的适宜范围, 明确此类建筑外遮阳的尺寸设计应采用节能与自然采光双目标优化的方法, 改变以外遮阳系数为单一评价参数的方式。

关键词: 变电站; 外遮阳; 节能; 自然采光

中图分类号: TU113.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-4764(2018)02-0132-07

Double objective optimization analysis of external sunshade of a substation in hot-summer and warm-winter area

Li Lingling¹, Meng Qinglin¹, Zhang Lei¹, Meng Qingwei¹, Pan Jingli³

(1. School of Architecture; State Key Laboratory of Subtropical Building Science, South China University of Technology,

Guangzhou 510640, P. R. China; 2. Meihekou Fukang Alcohol Co. Ltd, Meihekou 135000, Jilin, P. R. China;

3. Foshan Electric Power Design Co. Ltd, Foshan 528200, Guangdong, P. R. China)

Abstract: The main control building of the substation is not only to meet the operational requirements of precision equipment, but also to meet the working requirements of personnel. The design of external shading should take into account the requirements of energy saving and daylight. In this study, a typical substation building as an example in the hot-summer and warm-winter area was chosen. The change of indoor light environment and energy consumption of this building in different shading facilities were simulated and analyzed by using energy and lighting simulation software. And the suitable range of size of the shading facilities were obtained by taking the building energy efficiency and lighting coefficient standard value as evaluation index. Finally, it is clear that the size design of the external shading of this kind of building should adopt the method of double goals optimization of energy saving and natural lighting, to change the way that outside shading coefficient as a single evaluation parameter.

Keywords: substation building; external sunshade; energy saving; natural daylighting

收稿日期: 2017-07-09

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC0700205)

作者简介: 李令令(1990-), 女, 博士生, 主要从事建筑节能、室外热环境研究, E-mail: huananlilingling@163.com。

孟庆林(通信作者), 男, 教授, 博士生导师, E-mail: arqlmeng@scut.edu.cn。

Received: 2017-07-09

Foundation item: National Program on Key Research Project of China (No. 2016YFC0700205)

Author brief: Li Lingling(1990-), PhD candidate, main research interests: building energy saving and outdoor thermal environment, E-mail: huananlilingling@163.com.

Meng Qinglin(corresponding author), professor, doctoral supervisor, E-mail: arqlmeng@scut.edu.cn.

面对世界能源的紧缺,作为能耗大户的建筑业,节能是其发展的必然要求和趋势。根据研究,建筑遮阳可以有效遮挡太阳辐射热,降低室内温度,减少建筑能耗,是重要的节能措施^[1-4]。建筑遮阳技术中,外遮阳是在外窗室外侧安装固定或者可调节的水泥混凝土板或金属板,在丰富建筑物的立面艺术效果的同时,直接把太阳辐射遮挡在室外。然而,建筑外遮阳在遮挡阳光的同时,不可避免地降低了室内照度,这对于室内自然采光非常不利,尤其是在阴雨天。现阶段关于办公建筑外遮阳的节能和采光效果的研究较多,但是,关于工业建筑的研究较少。Hien 等^[5]分析了 6 种不同形式的外遮阳下室内采光情况,得出不同形式的外遮阳对室内采光均有削弱作用。Athienitis 等^[6]对遮阳百叶的倾角进行了实验研究,在百叶倾角为 78° , 太阳能高度角为 15° 时,室内透光率最大。当室内采光不好时,建筑的照明能耗会大大增加,从而导致总的建筑能耗增加^[7-8]。Mirza 等^[9]通过实验证明,合理地利用自然光可以为挪威和瑞典两个国家分别节约至少 1% 的电能。Chen 等^[10]对工业建筑大空间内的自然采光和节能潜力做了实验和模拟研究,采用自然采光可以节约能耗 41.5%。Huang 等^[11]设计了一种新型动态遮阳系统,不仅降低了建筑制冷能耗,而且,提高了自然光的使用。Manzan 等^[12]通过软件模拟,对某办公建筑的固定遮阳装置进行了遮阳和采光性能的优化。周荃等^[13]模拟分析不同尺寸的水平外遮阳和垂直外遮阳对室内自然采光环境的影响,当遮阳尺寸超过一定范围后再增加外遮阳的尺寸,对室内采光效果的影响不明显。

从以上分析可以看出,如何合理设计建筑的外遮阳,对于平衡建筑遮阳节能和室内的采光效果很重要。工业建筑与办公建筑的功能和采光系数标准值要求不同^[14],尤其是变电站类建筑的主控通信楼,不仅要满足精密设备的运行要求,还要满足人员工作使用要求。此外,现有研究中对于室内采光效果的评价大多以室内照度为评价指标,但是,在全年和全天里,室内照度不断变化,在确定室内的天然光照度水平时,无法只将室内的照度水平作为同一标准。

本文以夏热冬暖地区某典型变电站建筑的主控通信楼为例,以建筑节能率和采光系数标准值作为评价指标,研究建筑的遮阳设施在满足节能与自然采光的二目标要求时,其适宜的尺寸设计,进而为该地区此类建筑外遮阳的优化设计提供方法和案例

参考。

1 建筑概况及外遮阳形式的选择

1.1 建筑概况

某变电站的主控通信楼位于广东省阳江市,总建筑面积 745 m^2 ,分为上下两层。1 层主要为附属房间,层高 3.3 m ;2 层为主控室和通信室,层高 4.15 m 。平面布置均为矩形房间。窗高 1.8 m ,窗宽 2.4 m ,2 层窗户顶端距离挑檐底面为 0.5 m 。

1.2 外遮阳形式的选择

建筑外遮阳的形式一般分为:水平式遮阳、垂直式遮阳、挡板式遮阳和综合式遮阳,其中,综合式遮阳是前 3 种遮阳形式的组合形式,如图 1 所示。建筑外遮阳的遮阳效果常用外遮阳系数作为评价指标,而且外遮阳系数的计算方法有多种^[15],但是,工业建筑种类较多、行业性质差别较大,目前没有统一的节能设计标准,所以本文按照文献^[16]中建筑外遮阳系数的计算方法进行计算。

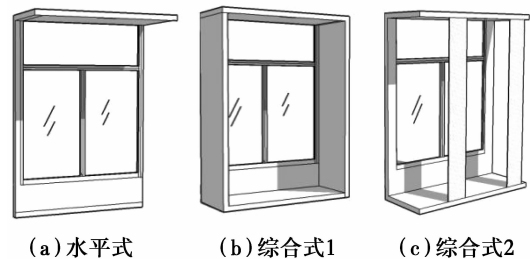


图 1 遮阳形式

Fig. 1 Shade form

通过变化外遮阳构件的尺寸,分别计算不同遮阳构件不同遮阳特征值 x 时,建筑东、南、西、北 4 个方向的外遮阳系数 SD 值,初步判断不同遮阳形式在该地区建筑各朝向的适用性,为该建筑遮阳形式的选择提供依据。

根据计算,该地区水平遮阳在东、南向遮阳效果较好,如图 2 所示,水平遮阳在建筑的东向外遮阳系数最小,为 0.66 ,南向次之,北向最大;垂直遮阳在南向遮阳效果较好。图 3 中,垂直遮阳在建筑的南向外遮阳系数最小,为 0.66 ,东、西向次之,北向最大;图 4 中挡板式外遮阳在建筑的东、西向外遮阳系数最小,为 0.04 ,北向次之,南向最大;可见,挡板式遮阳在东、西向遮阳效果较好。综合式遮阳由于是其他遮阳形式的组合,所以与上述几种遮阳形式的规律特性一致,对遮挡高度角中等的、从窗前斜射下来的阳光比较有效,而且,遮阳效果比较均匀。

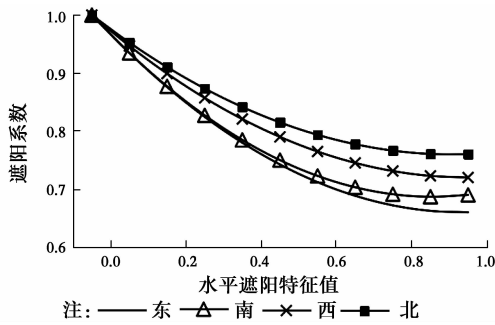


图2 水平外遮阳
Fig. 2 Horizontal shade

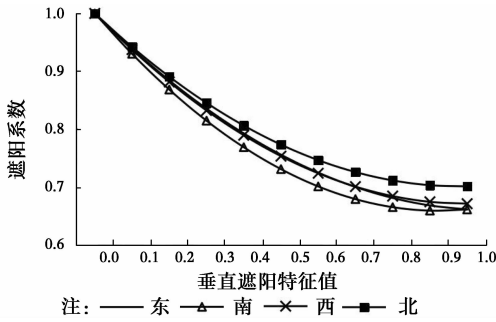


图3 垂直外遮阳
Fig. 3 Vertical shade

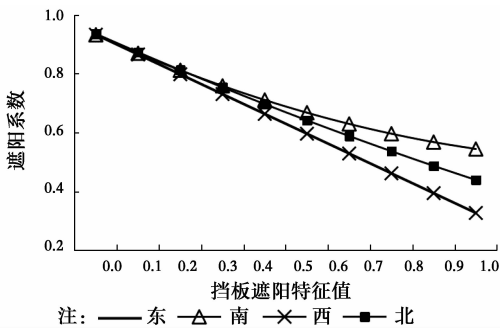


图4 挡板式外遮阳
Fig. 4 Baffle shade

金属穿孔板挡板式遮阳在特征值为1时,其遮阴系数随穿孔率增大而增大,如图5所示。在工程应用中,遮阳板的设计需要考虑建筑的采光、通风要求。该地区的气候受海陆风影响,在采用金属穿孔板挡板式遮阳时,可选择穿孔率为0.4~0.6。

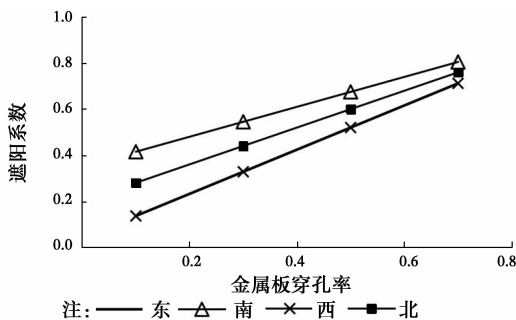


图5 金属穿孔板挡板式遮阳
Fig. 5 Metal perforated plate baffle shade

对于该地区,水平遮阳在东、南向遮阳效果较好;金属穿孔板挡板式遮阳在东、西向遮阳效果较好,适宜的穿孔率范围为0.4~0.6;综合式遮阳可以较好地弥补采用一种遮阳方式的缺点,遮阳效果更好。因此,本文主要模拟该建筑在采用水平遮阳、金属穿孔板挡板式遮阳二者综合应用时,建筑的能耗和室内自然采光情况。

2 数值模拟

2.1 模拟软件设置

建筑能耗模拟软件采用清华大学自主开发的DeST-C(Design by Simulation Toolkit)软件。该软件经过对比和验证,在计算能耗方面得到了认可,其模拟计算结果具有可靠性^[17]。

模型设置如图6、图7所示。

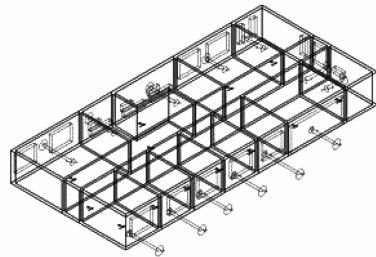


图6 DeST 一层建筑模型图
Fig. 6 DeST model of first floor

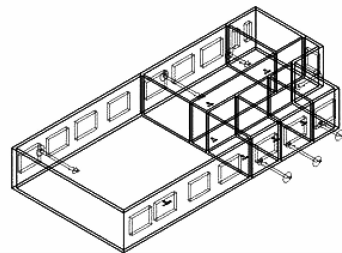


图7 DeST 二层建筑模型图
Fig. 7 DeST model of second floor

建筑采光软件采用 Autodesk Ecotect Analysis 2011(生态建筑大师)。该软件计算原理为光线追踪法,计算模型选用CIE全阴天模型,其模拟计算快速直观,已经被广泛应用到研究和实践之中。模型设置如图8所示。

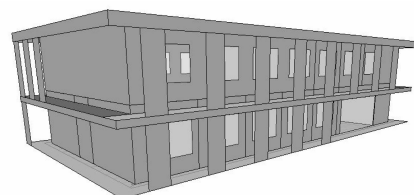


图8 Ecotect 建筑模型图
Fig. 8 Ecotect model

2.2 模拟参数设置

1)气象参数为广东省阳江市的气象参数^[18]。

2)围护结构的参数设置如表1所示。

表1 围护结构参数设置表
Table1 Enclosure parameter setting

类型	传热系数/ (W·(m ² ·K) ⁻¹)	反射 系数	透光率	遮阳 系数
屋面	0.74	0.702		
地面	1.50	0.404		
外墙	1.49	0.604		
玻璃	3.20		0.611	0.43

3)室内参数设置 夏热冬暖地区全年只考虑空调,不考虑采暖。计算机及通信室温度设置为26℃,空调性能系数设置为3.2。本文主要分析建筑外遮阳对围护结构传热的影响,为了减小热扰对于分析结果的影响,室内人员、灯光和设备等稳定热扰均设为0^[19]。

4)采光模拟设置 根据采光规范^[14],阳江属于

Ⅳ类光气候区,考虑最不利条件下,采光系数模拟使用的是全阴天模型,室外天然光临界照度应设为13 500 lx。此类建筑为工业建筑,测量照度的参考平面高度设置为1 m。主控通信楼的功能房间主控室和通信室位于2层,所以,在模拟时主要模拟建筑2层有无遮阳设施时的采光系数。

5)模拟工况设置 通过设置3类工况,量化该建筑外遮阳与采光、节能效益的关系,如表2所示。

类型1:无遮阳措施。

类型2:有水平遮阳措施。

类型3:有综合遮阳措施。

水平遮阳措施为挑檐水平遮阳,即工况1~6,其挑出长度在0.6~1.6 m范围内按照0.2 m依次变化。综合遮阳措施为在挑檐水平遮阳的基础上相应增加金属穿孔板挡板式遮阳,其穿孔率为0.5,按照挡板式遮阳的遮阳板宽度不同分为12个工况,其中,挡板宽度为0.72 m即窗户遮挡比例为0.3的工况为7~12;挡板宽度为1.2 m即窗户遮挡比例是0.5的工况为13~18。

表2 不同遮阳形式的建筑空调能耗

Table 2 building energy consumption of different shade

遮阳措施	工况	遮阳板尺寸/m	特征值	全年空调能耗/ (kW·h)
无遮阳	0	0	0	8 075.64
水平 遮阳	1	水平挑出长度 0.6	水平 0.26	7 673.84
	2	水平挑出长度 0.8	水平 0.35	7 554.67
	3	水平挑出长度 1.0	水平 0.43	7 432.76
	4	水平挑出长度 1.2	水平 0.52	7 317.88
	5	水平挑出长度 1.4	水平 0.61	7 213.48
	6	水平挑出长度 1.6	水平 0.70	7 113.67
综合 遮阳	7	水平 0.6;挡板宽 0.72,高 4.0	水平 0.26;挡板 1	6 950.86
	8	水平 0.8;挡板宽 0.72,高 4.0	水平 0.35;挡板 1	6 867.38
	9	水平 1.0;挡板宽 0.72,高 4.0	水平 0.43;挡板 1	6 804.45
	10	水平 1.2;挡板宽 0.72,高 4.0	水平 0.52;挡板 1	6 741.31
	11	水平 1.4;挡板宽 0.72,高 4.0	水平 0.61;挡板 1	6 715.96
	12	水平 1.6;挡板宽 0.72,高 4.0	水平 0.70;挡板 1	6 684.09
	13	水平 0.6;挡板宽 1.2,高 4.0	水平 0.26;挡板 1	6 707.66
	14	水平 0.8;挡板宽 1.2,高 4.0	水平 0.35;挡板 1	6 646.64
	15	水平 1.0;挡板宽 1.2,高 4.0	水平 0.43;挡板 1	6 583.08
	16	水平 1.2;挡板宽 1.2,高 4.0	水平 0.52;挡板 1	6 522.24
	17	水平 1.4;挡板宽 1.2,高 4.0	水平 0.61;挡板 1	6 492.96
	18	水平 1.6;挡板宽 1.2,高 4.0	水平 0.70;挡板 1	6 457.70

3 外遮阳对建筑能耗和室内采光的影响与分析

3.1 相关参数计算

1)建筑节能率是指设计建筑采用遮阳设施前后,建筑能耗的降低百分比,计算式为

$$\eta = \left(\frac{1-Q}{Q_0} \right) \times 100\% \quad (1)$$

式中: η 为建筑节能率; Q_0 为建筑无遮阳时的全年空调能耗, $kW \cdot h$; Q 为建筑采用遮阳措施后的全年空调能耗, $kW \cdot h$ 。

2)采光系数标准值^[14]是在规定的室外天然光设计照度下,满足视觉功能要求时的采光系数值,是参考平面上的平均值,在采用侧面采光时要按式(2)计算。此外,工业建筑的主控制室,侧面采光时要求该值大于 4%。

$$C_{av} = \frac{A_c \tau \theta}{A_z (1 - \rho_i)^2} \quad (2)$$

式中: A_c 为窗洞口面积, m^2 ; A_z 为室内表面总面积, m^2 ; ρ_i 为室内各表面反射比的加权平均值; τ 为窗的总透射比; θ 为从窗中心点计算的垂直可见天空的角度值。

3.2 建筑能耗模拟结果分析

根据能耗模拟计算结果,如图 9 所示,综合式遮阳相比水平遮阳节能效果显著,在工况 7 中平板遮阳挑出长度为 0.6 m,挡板式遮阳遮挡比例为 0.3,其节能率可达到 13.93%。然而,相同挑出长度的水平遮阳工况 1,其节能率仅为 4.98%;水平遮阳工况 6 挑出长度为 1.6 m,其节能率达到 11.91%,但仍低于综合遮阳。

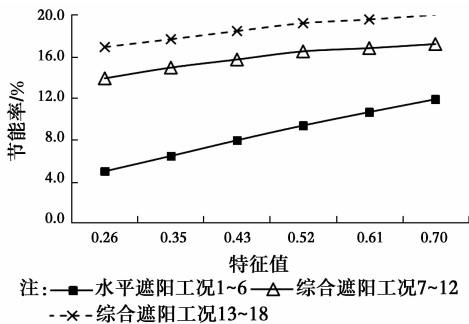


图 9 不同遮阳形式的节能率
Fig. 9 Energy saving rate of different shade

采用综合遮阳,建筑节能率最大达到 20.03%,随着挑檐特征值的增加,节能率的增加幅度降低,当水平特征值大于 0.61,节能率的增长趋于平缓,继续增大特征值,对于能耗的降低作用较小。

由综合遮阳工况 7~12 和工况 13~18 的对比可以发现,在挡板遮阳的特征值一定的情况下,当挡板遮挡窗户的比例在 0.5 以内变化时,建筑节能率的变化幅度不大,所以,从能耗的角度来看,此类建筑宜采用综合式遮阳,其水平挑檐特征值适宜范围为 0.35~0.61,金属穿孔板遮挡窗口比例适宜,为 0.3。

3.3 建筑室内采光分析

根据室内采光系数模拟结果,如图 11 所示,可以直观地看出,水平遮阳和综合遮阳都有效的降低了室内采光系数大于 10%的比例,降低了室内出现眩光的可能,在满足采光系数标准的前提下,对改善室内光环境有利。

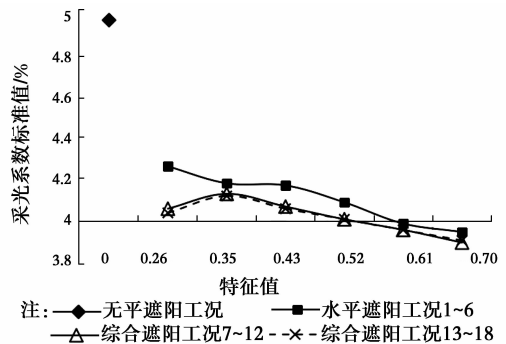


图 10 不同遮阳形式的采光系数标准值
Fig. 10 Standard value of lighting factor of different shade

根据采光系数标准值的统计结果,如图 10 所示,可以发现,建筑采用遮阳设施后,其采光系数标准值的降低幅度很大;但是,采用两种不同的遮阳设施,其采光系数标准值变化幅度相对较小,而且,穿孔率为 0.5 的金属穿孔板挡板式遮阳,相比水平遮阳对室内采光系数的影响较小。由综合遮阳工况 7~12 和工况 13~18 的对比可以发现,在挡板遮阳特征值一定的情况下,当挡板遮挡窗户的比例在 0.5 以内变化时,采光系数标准值的变化很小,这与建筑能耗的模拟规律一致,所以,该类建筑金属穿孔板遮挡窗口比例选择 0.3 即可。

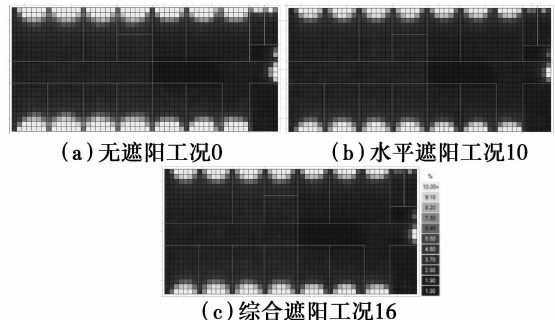


图 11 室内空间采光系数分布
Fig. 11 Lighting factor distribution

采用水平遮阳的建筑采光系数标准值随水平挑檐特征值的增加而降低,而采用综合遮阳的建筑采光系数标准值随特征值的增加先升高再降低,当特征值是0.35,即水平挑檐挑出长度为0.8 m时,采光系数取得最大值。采光系数标准值大于4%的临界工况为水平遮阳工况4和综合遮阳工况10、工况16,其挑檐特征值均为0.52,即出挑长度是1.2 m,所以从采光的角度来看,在水平挑檐特征值0.26~0.52范围内,该类建筑选择水平遮阳或综合式遮阳均可以满足采光要求。

根据能耗模拟得出的遮阳设施尺寸适宜范围与采光模拟的不同。所以,在科学评价遮阳效果,准确选择遮阳设计尺寸时,应取能耗和自然采光模拟得到适宜设计范围的交集。本文中主控通信楼适宜采用综合遮阳,在尺寸设计时,其水平挑檐特征值范围适宜为0.35~0.52;金属穿孔板穿孔率宜为0.4~0.6,遮挡窗口比例适宜为0.3;在该条件下,建筑的节能率为14.96%~16.52%,采光系数标准值为4.01%~4.13%,可以同时满足节能和采光的要求。

4 结论

变电站建筑的主控通信楼不仅要满足精密设备的运行要求,还要满足人员的工作使用要求,合理的建筑外遮阳设计对于平衡夏热冬暖地区此类建筑外遮阳的节能和室内采光效果很重要。通过软件模拟分析建筑外遮阳对建筑能耗和室内采光影响,明确建筑外遮阳的尺寸设计应采用节能与自然采光双目标优化的方法,取能耗和自然采光模拟得到的适宜尺寸设计范围的交集,改变以外遮阳系数为单一评价参数的情况。

参考文献:

[1] CARLETTI C, SCIURPI F, PIERANGIOLI L. The energy upgrading of existing buildings: window and shading device typologies for energy efficiency refurbishment [J]. *Sustainability*, 2014, 6(8): 5354-5377.

[2] CHO J K, YOO C W, KIM Y D. Viability of exterior shading devices for high-rise residential buildings: Case study for cooling energy saving and economic feasibility analysis [J]. *Energy & Buildings*, 2014, 82: 771-785.

[3] 涂逢祥. 建筑遮阳是建筑节能的重要手段 [J]. *建筑技术*, 2011, 42(10): 875-876.

TU F X. Building sunshade is an important method for building energy efficiency [J]. *Architecture Technology*, 2011, 42(10): 875-876. (in Chinese)

[4] FREEWAN A A Y. Impact of external shading devices on thermal and daylighting performance of offices in hot climate regions [J]. *Solar Energy*, 2014, 102(4): 14-30.

[5] HIEN W N, ISTIADJI A D. Effects of external shading devices on daylighting and natural ventilation [R]. Eighth International IBPSA Conference, Netherlands, 2003.

[6] ATHIENITIS A K, TZEMPELIKOS A. A methodology for simulation of daylight room illuminance distribution and light dimming for a room with a controlled shading device [J]. *Solar Energy*, 2002, 72(4): 271-281.

[7] 耿建国. 上海地区遮阳住宅建筑自然采光与能耗研究 [D]. 上海: 同济大学, 2008.

GENG J G. Research on the indoor daylighting environment and energy consumption of Shanghai shaded residential building [D]. Shanghai: Tongji University, 2008. (in Chinese)

[8] AL-ZOUBI H H, AL-ZOUBI A H. Assessment of building façade performance in terms of daylighting and the associated energy consumption in architectural spaces: Vertical and horizontal shading devices for southern exposure facades [J]. *Energy Conversion & Management*, 2010, 51(8): 1592-1599.

[9] MIRZA F M, BERGLAND O. The impact of daylight saving time on electricity consumption: Evidence from southern Norway and Sweden [J]. *Energy Policy*, 2011, 39(6): 3558-3571.

[10] CHEN Y Y, LIU J J, PEI J J, et al. Experimental and simulation study on the performance of daylighting in an industrial building and its energy saving potential [J]. *Energy & Buildings*, 2014, 73(2): 184-191.

[11] HUANG K T, LIU F R, LIANG H H, et al. Design and energy performance of a buoyancy driven exterior shading device for building application in Taiwan [J]. *Energies*, 2015, 8(4): 2358-2380.

[12] MANZAN M, PADOVAN R. Multi-criteria energy and daylighting optimization for an office with fixed and moveable shading devices [J]. *Advances in Building Energy Research*, 2015, 9(2): 238-252.

[13] 周荃, 王智, 程瑞希. 广州地区玻璃幕墙建筑外遮阳对室内采光的影响研究 [J]. *墙材革新与建筑节能*, 2016(6): 60-63.

ZHOU Q, WANG Z, CHENG R X. Study on the influence of exterior shading of glass curtain wall in Guangzhou [J]. *Wall Materials Innovation and Building Energy Saving*, 2016(6): 60-63. (in Chinese)

[14] 中华人民共和国建设部. 建筑采光设计标准 [M]. 北京:

- 中国建筑工业出版社, 2013.
- Ministry of Construction of the People's Republic of China. Architectural lighting design standards [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2013. (in Chinese)
- [15] 任俊, 王鹏. 遮阳系数的原理及其测试分析[J]. 暖通空调, 2012, 42(3): 114-118.
- REN J, WANG P. Principle of shading coefficient and its test analysis [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2012, 42(3): 114-118. (in Chinese)
- [16] 中华人民共和国住房和城乡建设部.《公共建筑节能设计标准》广东省实施细则[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Construction of the People's Republic of China. Design Standard for Energy Efficiency of Public Buildings in Guangdong. [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2007. (in Chinese)
- [17] 朱丹丹, 燕达, 王闯, 等. 建筑能耗模拟软件对比: DeST、EnergyPlus and DOE-2 [J]. 建筑科学, 2012, 28 (Sup2): 213-222.
- ZHU D D, YAN D, HONG T Z, et al. Comparison of building energy simulation programs: DeST, EnergyPlus and DOE-2 [J]. Building Science, 2012, 28(Sup2): 213-222. (in Chinese)
- [18] 中国气象局气象信息中心气象资料室. 中国建筑热环境分析专用气象数据集 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- Meteorological Data Department of Meteorological Information Center. Meteorological data set for analysis of thermal environment in China [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2005. (in Chinese)
- [19] 路吾清. 基于能耗外遮阳系数与基于太阳辐射得热外遮阳系数的比较[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.
- LU W Q. Comparing of the outside shading coefficient based on energy consumption and based on solar heat gain [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2010. (in Chinese)

(编辑 王秀玲)