

外窗内遮阳对室内环境影响的测试分析

丁 勇¹, 连大旗¹, 李百战¹, 姚润明²

(1. 重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045;

2. 英国雷丁大学 建筑管理工程系, 英国雷丁 RG66AW)

摘 要: 内遮阳对室内环境同时具有遮阳和遮光的影响, 同时内遮阳在遮阳的同时又吸收了热量, 形成了室内热源。因此对于内遮阳的整体能效性能的评价始终处于定性的感性评价。研究针对内遮阳对室内光热环境影响的量化, 开展了内遮阳作用下的室内围护结构内表面温度测试和自然采光照度测试。研究表明, 设置内遮阳的房子的各内墙表面温度比未设置内遮阳的房间低 $0.6 \sim 1^{\circ}\text{C}$; 内遮阳表面温度高于其他内墙表面温度 $3 \sim 5^{\circ}\text{C}$, 可见内遮阳在太阳辐射的作用下同时也形成了 1 个室内热源; 同时设置内遮阳的房子的空调能耗比未设置内遮阳的房间下降了 17.24% , 说明内遮阳对于降低室内空调负荷具有一定的作用; 但设置内遮阳房间的自然采光照度却下降了 81% , 由此产生的人工照明电耗是未设置内遮阳测试房间的 1.88 倍。

关键词: 内遮阳; 室内环境; 能耗; 测试

中图分类号: TU832.17 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-4764(2011)05-0108-06

Test and Analysis of Impact of Internal Shading of External Window on Indoor Environment

DING Yong¹, LIAN Da-qi¹, LI Bai-zhan¹, YAO Run-ming²

(1. Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China; 2. Department of Construction Management and Engineering, University of Reading, Reading RG6 6AW, UK)

Abstract: The internal shading can both impact on the sunshade and indoor daylighting, and work as an indoor heat source by absorbing heat. Presently the evaluation of overall energy efficiency of the internal shading is perceptual and qualitative. Therefore, the tests of the internal surface temperatures of house envelopes and the daylighting illuminance were carried out. It is shown that the surface temperature of interior walls with internal shading are $0.6^{\circ}\text{C} \sim 1^{\circ}\text{C}$ lower than those without; however, the surface temperature of internal shading is $3^{\circ}\text{C} \sim 5^{\circ}\text{C}$ higher than that of the interior walls. It can be seen that internal shading also forms an indoor heat source. The energy consumption of air-conditioning with internal shading decreases by 17.24% than that without, which indicates the internal shading can certainly reduce the indoor air conditioning load; however, the daylighting illuminance declines by 81% , with the results that the artificial lighting energy consumption is 1.88 times as much as that without the internal shading.

Key words: internal shading; indoor environment; energy consumption; test

收稿日期: 2011-01-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(50838009); 国家“十一五”科技支撑重大项目(2006BAJ02A09、2006BAJ02A13-4)

作者简介: 丁 勇(1975-), 男, 博士, 副教授, 主要从事可持续建筑环境与建筑节能研究, (E-mail)dingyongqq@163.com。

建筑外窗由于薄壁轻质透明构件的特点,使得夏季通过玻璃窗的太阳辐射得热负荷占到室内空调负荷的 20%~30%。因此,大量的建筑外窗均设置有各种遮阳措施以阻挡夏季太阳辐射进入房间,其中的内遮阳由于设置便捷,功能多样,美观大方等优势得到大量应用^[1-5]。由于内遮阳设施本身的特点,能够反射、吸收和透过太阳辐射(图 1),吸收和透过部分均成为建筑空调冷负荷,其中吸收的辐射热会慢慢在室内释放全部成为得热,而反射部分也因为玻璃的二次反射而部分成为空调冷负荷,内遮阳设施只是使得热的峰值有所衰减和延迟。而与此同时,内遮阳遮挡了直射阳光,同时也遮挡了散射的光线,影响室内自然采光,形成了内遮阳应用中的必然矛盾^[6-7]。因此,内遮阳在遮挡太阳辐射的同时也吸收了太阳辐射热;在阻止辐射热进入的同时也阻挡了自然光的进入^[6,8],因而,内遮阳对室内热环境和光环境的作用具有典型的交叉性,而对于这种交互影响的认识,目前大多是从感性上得以理解,鲜有具体数据的理性论证,而对于合理设置与利用内遮阳的分析,首先需要的就是弄清楚这些影响的作用。基于这一出发点,本文围绕内遮阳对室内热环境和光环境所产生的影响程度和所产生的空调能耗降低及照明能耗增加的程度开展了实验对比测试研究,对内遮阳应用情况下室内围护结构表面温度变化、自然采光照度变化以及能耗变化进行了分析。

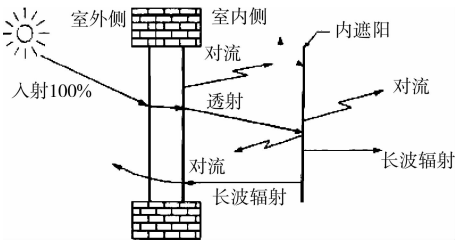


图 1 内遮阳设施对太阳辐射的影响^[9]

1 研究方法

为了研究内遮阳对室内热环境和光环境的影响,研究针对 2 相邻办公室开展了对比测试。两办公室的房间长宽高均为 7.9 m×3.7 m×3.5 m,面积 29.2 m²;在西北向外墙上设置有外窗,宽高为 1.2 m×2.1 m,窗台高 0.8 m,窗墙比为 0.24;办公

室 A 未设置内遮阳,办公室 B 设置浅色布窗帘内遮阳。实验测试中,按照相关测试标准^[10-13]的要求,参考文献[14-21]中相关实验的设置,分别测试了测试房间 4 面墙体的表面温度、地板和天花板表面的温度、室内温湿度、室内照度以及外窗玻璃内表面温度和内遮阳表面温度,室内测点按照相关测试要求^[10-13]布置(图 2)。2 间测试房间内均采用柜式空调器控制室内温度,空调设定温度为 26℃。

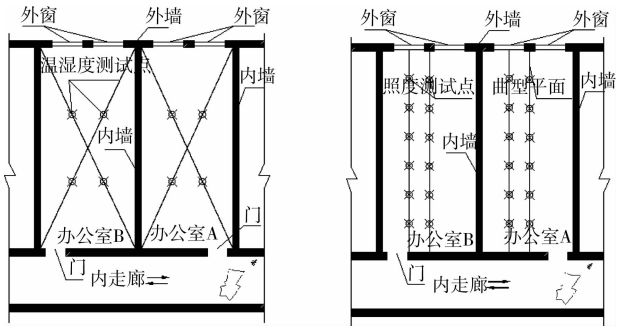


图 2 测试房间温度(左图)和照度(右图)测点布置图

为了测试观察的连续性与周期性,测试选取了重庆地区 8 月的代表性气候时间段进行测试,分别采用了温湿度计 Dwyer485、照度计 TES1334A、红外测温计 UT302A、电能表 DD862-4 测试仪器测试了室内外温湿度、照度、围护结构内表面温度、空调能耗等参数。根据测试结果,对比分析了测试参数的动态特性与周期性、空间分布与时间分布等性能所反应出的内遮阳作用下的室内热环境状态与光环境状态的特征参数,对内遮阳对室内光热环境的影响进行了量化的衡量。

2 结果与分析

2.1 内遮阳对建筑室内热环境的作用分析

根据研究测试结果,将内遮阳房间与未遮阳房间的室内温湿度状况进行对比(图 3)。测试期间天气多为多云和晴天,室外照度值较高,在下午时刻达到最大值约 51 000 lx。室外温湿度呈现日动态变化特性,早上温度较低,约 30℃左右,到下午 15:30 左右上升到近 38℃,而随后温度开始下降,全天温度在 29~38℃之间;空气相对湿度则从早上的约 77%变化到下午的 49%,而后又呈现上升趋势,全天相对湿度在 45%~80%之间。而室内在空调器的作用下,无论是否设置内遮阳,室内温湿度全天受室外扰动小,温度维持在 26℃左右,相对湿度在 55%~70%之间。

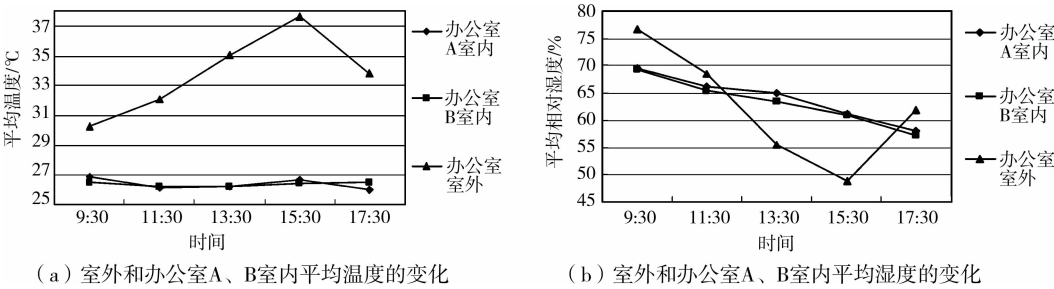


图 3 室内外温度、湿度的日变化

根据研究测试结果,将房间 A 与 B 的围护结构内表面温度以及房间 A 窗帘内表面温度与房间 B 的玻璃内表面温度进行对比发现,内遮阳减弱了太阳辐射与内围护结构之间的直接热作用,使得内遮

阳房间围护结构内表面温度得到一定程度的降低,并且对于均与室内空气直接接触的房间 A 窗帘内表面和房间 B 玻璃内外面,前者温度明显小于后者(图 4、5)。

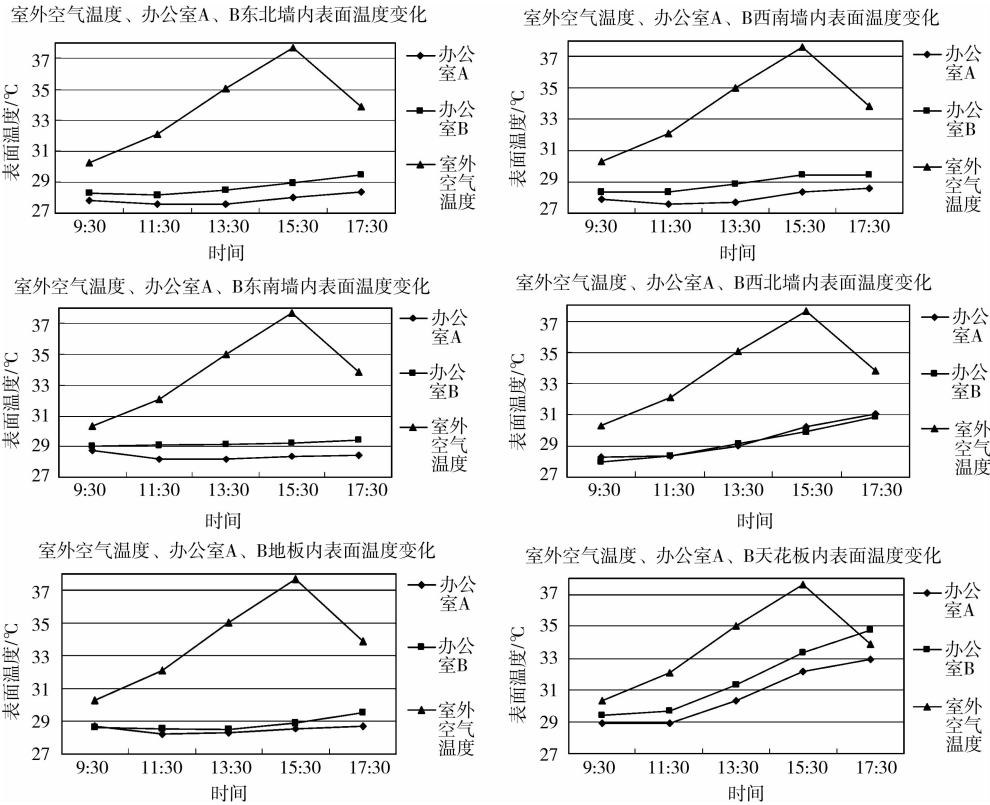


图 4 室外平均温度、办公室围护结构内表面温度变化趋势

由于通过窗户的太阳辐射在内遮阳处分为 3 部分,一部分直接透过内遮阳装置进入室内,被围护结构内表面、家具、空气所吸收;另一部分被内遮阳装置反射到室外侧,不完全成为房间得热;还有一部分被内遮阳装置吸收,提高自身温度,并通过长波辐射和对流方式向室内和玻璃区域散发影响室内热环境。内遮阳透光材料对太阳辐射透过率介于 0~1 之间,阻隔了通过玻璃的太阳辐射与室内空气及内围护结构的直接热作用,减小了它们之间的传热量,有效降低了内遮阳房间围护结构内表面温度。从测

试数据对比图 3 可以看出,2 个测试房间在空调器的作用下,室内的各围护结构内表面的温度变化相对平稳,但仍可看出由于办公室 A 设置了窗帘内遮阳,因此导致东北、西南和东南的各面内墙的表面温度均低于办公室 B,平均差值为 0.59℃左右,平均降幅 2.8%,由此可见内遮阳有效降低了太阳辐射热对室内各表面的加热程度;同理可见,在天花板的温度对比中,同样是设置了内遮阳的办公室 B 的天花板内表面温度明显低于未设置内遮阳的办公室 A,最大差值达到 1.8℃,而且温度差值从早上到下

午逐渐增加,这充分表明了内遮阳在阻挡室内表面太阳辐射得热方面的作用;而由于受到空调器作用和温度梯度分布规律的作用,2测试房间的地板表面温度相差并不明显,这也是符合热流分布规律的^[20];而西北向的围护结构为测试房间的外墙,其直接受外界影响,因此2个测试房间该面墙体内表面温度相差不大,而且温度也随时间逐渐上升,且明显高于其他内墙表面温度。

内遮阳的设置,使得内遮阳与外窗玻璃表面之间形成空气层,该空气层的作用,对于降低太阳辐射热传向室内起到了阻碍作用。通过对比外窗玻璃的内表面和窗帘的内表面温度(图5),由于受到外界气候因素的直接作用,此2表面的温度波动明显大于其他墙体内表面,而更接近于外界温度的波动;对比2表面的测试结果,窗帘内表面温度和玻璃内表面温度之差平均为 1.22°C ,而随着外窗所接受的太阳辐射量的增加,该温差最大值达到 1.93°C ,由此可见,由于玻璃与遮阳布之间的空气间层的作用,使得2表面的温度存在明显的差别,从而也可以再次证明内遮阳可降低围护结构内表面的温度;但是,与此同时我们也应看到,虽然内遮阳内表面的温度低于外窗玻璃内表面的温度,但由于受到太阳辐射的直接作用,其表面温度却仍然高于其他墙体的内表面温度,该高出值平均为 3.54°C ,最大达到了 5.01°C 。

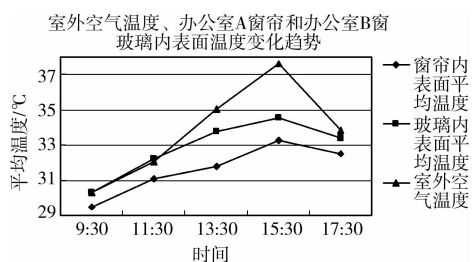


图5 室外空气温度、办公室A窗帘和办公室B窗玻璃内表面温度变化趋势

由此可见,内遮阳由于阻挡了太阳辐射对室内的直接作用,对降低外窗玻璃内表面的温度起到了一定的作用,从而可以在一定程度上减少外窗的热传递,但由于内遮阳在遮挡太阳辐射的同时也吸收了部分太阳辐射热,因此使得内遮阳的温度远高于其他墙体表面,其本身也形成了对室内散热的热源,也就是说内遮阳并未起到完全隔绝太阳辐射热的作用。

2.2 内遮阳对空调能耗的影响分析

在前面的分析中可以看到,内遮阳对太阳辐射有遮挡、反射的作用,被反射到室外的太阳辐射,不会成为室内得热,这有效减小了空调冷负荷。但是,

由于内遮阳窗帘对热量的吸收作用,吸收的太阳辐射二次作用于室内热环境,同时玻璃对太阳光的“易进难出”特性使得部分热量积蓄在内遮阳窗帘与玻璃之间的空气间层,这些热量通过对流、辐射的方式逐渐向室内传递,并最终成为空调冷负荷。因此,为了对比内遮阳对室内空调负荷的影响,研究人员对2个房间内的空调器的使用能耗进行了测试研究。由于2房间在结构、位置、使用特点以及空调设定温度上均保持一致,因此,空调能耗可以间接反映房间的空调负荷的大小。

通过研究表明,在内遮阳的作用下,房间的空调负荷在1d中具有一定的时间分布性,随着日射得热的增强,内遮阳对空调负荷的影响逐渐增大,相比未遮阳房间,遮阳房间全天空调负荷降幅较明显。由此可得,对于夏季炎热地区,日射得热占主导的外窗,设置内遮阳是减少夏季空调冷负荷行之有效的方法之一。

根据8月18日~8月25日5d的日平均空调能耗变化对比(图6)。设置有内遮阳的办公室A比未设置内遮阳的办公室B的能耗明显较低,办公室B比办公室A平均每天多耗电大约 $1.72\text{ kW}\cdot\text{h}$ 。并且具有显著的时间阶段性,在上午时段9:30—11:30,由于测试房间朝向的影响,房间受太阳直射的影响不太大,因此该时段2房间的能耗差值较小,约为 $0.16\text{ kW}\cdot\text{h}$;而从中午时段到下午,由于受到太阳直射的影响,使2房间的空调能耗产生了较大的差值,在11:30—13:30,13:30—15:30这段时间内,电耗最大差值为 $0.53\text{ kW}\cdot\text{h}$,在15:30—17:30,差值为 $0.51\text{ kW}\cdot\text{h}$,测试期间的日平均空调电耗差值为 $1.72\text{ kW}\cdot\text{h}$ 。由此可见,内遮阳对于降低室内的空调负荷具有一定的作用,根据测试表明,测试期间,办公室A由于设置有内遮阳,5d内共节约了 $8.61\text{ kW}\cdot\text{h}$ 电,节能率达到17.24%。因此,在窗口设置内遮阳设施,对削减太阳辐射热的作用较明显,尤其对太阳直射辐射的遮挡,有效减小了透过玻璃进入室内的太阳辐射总透过率,阻挡了太阳辐射与室内空气和内围护结构的直接热作用,减小向室内的传热量。

2.3 内遮阳对建筑室内光环境的作用分析

自然光主要包括2部分,一部分是直接到达地面的光线即直射太阳光,另一部分为经大气、构筑物等扩散的散射光。无论是直射还是散射太阳光,其辐射的主要能量集中在 $0.2\sim 2\mu\text{m}$ 的波长范围,其中可见光和近红外光区能量占很大比例^[23]。室内自然采光主要来自可见光的作用,而建筑遮阳系统

却是以减少这 2 个区段的太阳辐射能量进入室内实现夏季空调节能为目的,这与太阳辐射强度是自然采光的最大因素存在着必然的矛盾。因此,对于遮阳系统,有必要综合分析遮阳与采光的耦合作用,优化室内光环境。

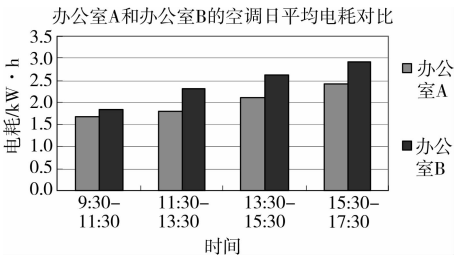
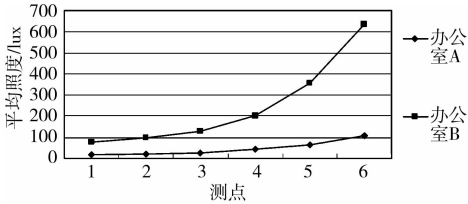


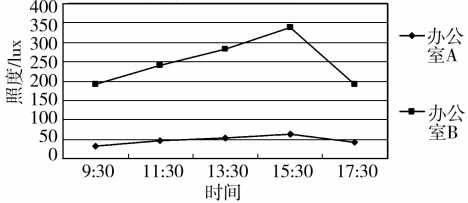
图 6 办公室 A 和办公室 B 的空调日平均电耗对比

为了全面分析内遮阳对室内环境的影响,对受内遮阳影响最直接的室内自然采光照度进行了测试。测试点如图 2 所示,测试时间与温度测试时间相同,每隔 2 h 测试一次,测试结果如图 7 所示。如果按照办公室照度为 200 lx 的标准来界定^[24],则在设置了内遮阳的办公室 A 内,各测点的照度变化小,其照度值均满足不了要求。而办公室 B 内,在距窗 3.4 m 的范围内,其照度值大于 200 lx,该范围利用自然采光可以满足标准要求,而后随着进深的加大,自然采光的照度值低于标准要求,需采用人工照明。总体而言,由于内遮阳对阳光的遮挡作用,未设置内遮阳的办公室 B 室内照度全天平均值为 249.40 lx,办公室 A 为 47.49 lx,室内的照度平均下降了 81%。

为了更好的说明内遮阳所影响的室内采光问题,对测试房间的人工照明能耗进行了简要对比。由于办公室 A 需全天采用人工照明,设定在测试期间灯具一直开启,共 4 根灯开启 8 h。而办公室 B 只需远离外窗的内部从 9:30~17:30 和靠近外窗的部



(a) 办公室 A 和办公室 B 室内不同测点的平均照度变化



(b) 办公室 A 和办公室 B 室内照度随时间的变化

图 7 办公室 A 和办公室 B 室内不同测点的平均照度变化

分 9:30—10:00 需采用人工照明,该办公室在测试期间共 2 根灯开启 8.5 h。2 个办公室均安装了 4 根可分控的 T5 高效节能型荧光灯,荧光灯功率为 28 W。表 1 为两办公室照明计算能耗的对比。可以看到,办公室 A 和 B 的日照明电耗分别为 0.90 kW·h 和 0.48 kW·h,测试期间总能耗分别为 4.48 kW·h 和 2.38 kW·h,办公室 B 节约电耗 2.10 kW·h,节能率为 46.88%。虽然在办公室 A 和 B 的照明电耗绝对值相比空调电耗较小,分别仅占到了总电耗的 10%和 5%左右,但就照明电耗本身而言,合理的自然采光对于降低照明电耗的幅度却不容小视,其降幅达到 46.88%。由此可以推论,对于大面积的空间而言,随着照明需求量的增加,由于内遮阳所造成的人工照明能耗的增加量也将是不可忽略的。而与此同时,由于内遮阳遮挡了阳光进入室内,室内的光环境舒适性^[25]也受到了严重影响,这也是在使用内遮阳时所应该考虑的问题。

表 1 2 个办公室的日照明电耗对比

名称	功率/W	数目/个	时间/h	照明耗电量/(kW·h)	总耗电量/(kW·h)	节电/(kW·h)	节能率/%
办公室 A	28	4	8	0.90	4.48		
办公室 B	28	2	8.5	0.48	2.38	2.10	46.88

3 结 论

上述研究表明,内遮阳存在本身特点的局限性,虽然其表面温度比未遮阳房间玻璃表面温度有所降低,但仍远高于其他内墙表面,形成了室内空调负荷的热源。但外窗内遮阳设施对太阳辐射的遮挡、吸收、反射作用,对建筑室内热环境的调节仍起到了一定的作用,能降低建筑内墙内表面的太阳辐射得热,

使得内遮阳房间其内墙内表面的温度同比没有内遮阳的房间平均低 0.6~1℃。

同时,内遮阳有效隔热的同时对室内自然采光具有一定消极影响。通过测试表明,内遮阳的设置,对室内自然采光影响严重,同比照度下降了 81%,需要全天设置人工照明方能满足照明标准要求。因此,内遮阳窗帘需要根据室外太阳辐射强弱、方向的不断变化,施加合理的控制,有效利用自然采光,降低人工照明。

而对比能耗表明,由于内遮阳的设置对削减太阳辐射热的作用较明显,尤其对太阳直射辐射的遮挡,反映出来的空调能耗降低了约 17.24%。而对于内遮阳对室内照度的影响所产生的人工照明能耗,由于测试房间的限制,其所降低的绝对值较小,但降幅却达到了约 46.88%,这表明此部分的能耗在照明需求量大的场所是不容忽视的。

上述研究通过对内遮阳设置对室内热环境和光环境作用影响的实测,发现了内遮阳应用中所体现出来的室内环境状态参数的变化特征,同时也更明确了内遮阳在建筑能效方面所反映出来的双重性。如何克服这一交叉影响,合理控制使用内遮阳,对内遮阳的不同设置策略和效果开展深入的研究将是下一步研究的工作重点。

参考文献:

- [1] DING YONG, ZHANG LI-WEN. Function analysis of external shading of window in building energy-saving [J]. Journal of Central South University of Technology, 2007, 14(S3): 143-146.
- [2] LIU HONG, DING YONG. Window design in energy efficient building [J]. Journal of Central South University of Technology, 2006, 13(S1): 52-54.
- [3] 江亿,林波荣,曾剑龙,等.住宅节能[M].北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [4] 简毅文,王苏颖,江亿.水平和垂直遮阳方式对北京地区西窗和南窗遮阳效果的分析[J].西安建筑科技大学学报,2001,33(3):212-217.
JIAN YI-WEN, WANG SU-YING, JIANG YI. Optimum overhang and vertical shading device dimensions for energy saving in Beijing [J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology, 2001, 33(3): 212-217.
- [5] 李娟,张强.重庆地区居住建筑遮阳构筑物对建筑能耗的影响[J].建筑节能,2007,35(10):21-23.
LI JUAN, ZHANG QIANG. Influence of the sun-shade structure on building energy consumption in Chongqing district [J]. Construction Conserves Energy, 2007, 35(10): 21-23.
- [6] 金招芬,朱颖心.建筑环境学[M].北京:中国建筑工业出版社,2001.
- [7] 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,2008.
- [8] 李隽永.建筑设计中的室内光环境控制[J].四川建材-建筑与规划设计,2008(4):67-69.
LI JUAN-YONG. Controlling of indoor light environmental in architectural design [J]. Sichuan Building Materials - Architectural Design and Planning, 2008(4): 67-69.
- [9] 李岳.窗口内外遮阳性能差异实验研究[D].广州:华南理工大学建筑学院,2010.
- [10] 吉林省卫生防疫站. GB/T 18204 13—2000 公共场所空气温度测定方法[S].北京:中国标准出版社,2001.
- [11] 吉林省卫生防疫站. GB/T 18204 14—2000 公共场所空气湿度测定方法[S].北京:中国标准出版社,2001.
- [12] 中国建筑科学研究院,中国标准化研究院,中国南玻集团股份有限公司,等. GB/T 5699—2008 采光测量方法[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [13] 中国建筑科学研究院. GBT 5700—1985 室内照明测量方法[S].北京:中国标准出版社,1985.
- [14] DE LA FLOR FJS, CEBOLLA RO, FELIX JLM. Solar radiation calculation methodology for building exterior surfaces[J]. Solar Energy, 2005, 79(5): 513-522.
- [15] JOHNSEN K. Daylight in buildings collaborative research in the international energy agency (IEA task 21)[J]. Renewable Energy, 1998, 15: 142-150.
- [16] LITTLEFAIR P J, AIZLEWOOD M E, BIRTLES A B. The performance of innovative daylighting systems[J]. Renewable Energy, 1994, 5(11): 920-934.
- [17] 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.
- [18] RALEGAONKAR R V, GUPTA R. Design development of a static sunshade using small scale modeling technique[J]. Renewable Energy, 2005, 30(6): 867-880.
- [19] ETZION Y, ERELL E. Controlling the transmission of radiant energy through windows: a novel ventilated reversible glazing system[J]. Building and Environment, 2000, 35(5): 433-444.
- [20] TSANGRASSOULIS A, PAVLOUA C, SANTAMOURISA M, et al. A new value of average beam solar heat gain coefficient for innovative daylighting systems[J]. Energy and Buildings, 2001, 33(6): 519-524.
- [21] FRANZETTI C, FRAISSE G, ACHARD G. Influence of the coupling between daylight and artificial lighting on thermal loads in office buildings [J]. Energy and Buildings, 2004, 36(2): 117-126.
- [22] 何天祺,田胜元.供暖通风与空气调节[M].重庆:重庆大学出版社,2003,171-184.
- [23] 郁文红.建筑节能的理论分析与应用研究[D].天津:天津大学自动化学院,2004.
- [24] 中国建筑科学研究院. GBJ 133—90 民用建筑照明设计标准[S].北京:中国标准出版社,1990.
- [25] LIAN DA-QI, DING YONG, YAO RUN-MING. Building external shading effecting on indoor light environment [J]. Journal of Chongqing University: English Edition, 2009, 8(S0): 39-43.