

办公建筑遮阳-照明开启逻辑的实验研究

李 翠¹, 李峥嵘¹, 赵 群², 汪海生¹

(1. 同济大学 机械与能源工程学院, 上海 200092; 2. 同济大学 建筑与城市规划学院, 上海 200092)

摘要: 通过构筑一个较低照度的室内空间, 研究志愿者进入室内后为提高室内照度发生的行为模式, 并通过实验后的访谈问卷验证志愿者实际行为与访谈时假想选择行为的一致性, 分析其行为结果的主客观原因。结果表明: 在较暗的室内, 超过 80% 的志愿者通过升起遮阳帘的方式提高室内照度, 16% 的志愿者仅依靠人工照明, 25% 的志愿者同时使用照明和遮阳帘提高室内照度, 实验结果与访谈结果一致, 对自然采光、通风、室外视野的追求心理和长期的生活习惯是造成该行为模式的主要原因; 控制开关的位置对室内人员行为模式有较大影响。根据实验结果提出修正后的遮阳控制逻辑图和相应的概率分布, 以促进模拟过程更接近实际情况。

关键词: 建筑节能; 遮阳; 自然采光; 行为模式

中图分类号: TU111.4

文献标志码: A

Experimental Research on Open Logic for Shading-lighting in Office Buildings

LI Cui¹, LI Zhengrong¹, ZHAO Qun², WANG Haisheng¹

(1. College of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. College of Architecture and Urban Planning, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: A test room with low illuminance was set up to research the volunteers' behaviors on lighting and shading upon their arrival. Consistence was researched by comparing the real behavior and the default behavior during questionnaire period. Results show that 80% of occupants open the rolling to improve the inside lighting environment; 16% of occupants rely only on artificial lighting and 25% of occupants use both artificial lighting and rolling. Main reasons for the behavior are found to be their preference to day-lighting, natural ventilation, wide vision, and life habits. Experimental results also show that the location of the switch affects the choice of the switch obviously, which means that the easily-reached switch is preferred. A revised control logic for building energy performance simulation is proposed, which is closer to the real

scenario.

Key words: building energy efficiency; shading; day-lighting; behavior model

建筑遮阳技术是重要的夏季降温途径, 尤其在南方地区有着广泛和悠久的历史, 国内相关标准^[1]也对该技术措施提出了明确要求。但是, 由于遮阳设施的应用涉及人员生活习惯、自然采光、自然通风、室内热舒适水平调控等方面, 对建筑能耗的影响以及遮阳应用的综合效果往往依靠软件模拟。

在算法得到充分验证的前提下, 应用建筑模拟软件不仅可以对比不同技术途径带来的节能效果, 而且可以预测建筑的能耗、可能产生的室内光热环境状态。但是, 越来越多的工作发现模拟结果之间、模拟结果与实际情况之间存在差异性^[2-3], 模拟模型(或者设计者)与使用者之间在设计意图、控制和使用模型等方面的差异性造成模拟结果和实际结果之间差距的主要原因^[4-5]。由此引发了关于使用者行为的长期研究, 尤其是遮阳、自然采光、自然通风等被动式技术的实际应用效果主要依赖于使用者的行为, 因此该方面的研究结果对于相关模拟软件的开发具有很重要的意义。

Inoue 等^[6]针对东京四幢高层的研究显示室内人员倾向于靠窗位置, 并指出一天中室内百叶帘的调节概率不超过 40%。Foster 等^[7]的研究也认为人们对日光的偏爱性是室内照明和百叶帘同时打开概率较高的主要原因, 避免桌面太阳直射辐射过强(立面直射辐照度超过 $233 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ^[8])是落下百叶帘的主要原因。Georg 等^[9]的研究显示私密性(当室外环境水平辐照度低于 $10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$)要求和室外日平均温度(超过 25°C)是室内帘落下的两个主要原因。除了正常的环境参数(照度、太阳辐照度、温度等)影

收稿日期: 2012-04-04

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAJ03B02); 中美清洁能源联合研究中心建筑节能合作项目(2010DFA72740)

第一作者: 李 翠(1982—), 女, 博士生, 主要研究方向为建筑节能。E-mail: 1982licui@tongji.edu.cn

通讯作者: 李峥嵘(1969—), 女, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为建筑节能与遮阳。E-mail: lizhengrong@tongji.edu.cn

响灯光、遮阳等设施的开启、关闭外,人在一天中所处的特定时间也影响室内人员的调节模式^[9],如人员刚上班时将升起遮阳等.文献^[10]给出了影响调节行为的特定时间包括:是否刚上班、下班,短期还是长期离开办公室等.文献^[9,11]在上述研究的基础上逐渐建立了比较复杂的遮阳、照明、采光等控制算法和模型.Reinhart^[12]在前人基础上提出了 Lightswitch—2002 算法模型,并用于 Daysim 软件.

显然,落下遮阳帘的主要原因是防止过热或者眩光以及隐私要求,它们之间的关联度非常高.而升起遮阳帘的原因比较复杂,行为发生的随机性很高(甚至有的个人办公室数周和数月都不会升起^[7]),并且遮阳帘升起的主要发生时刻是办公人员刚到办公室的时候.

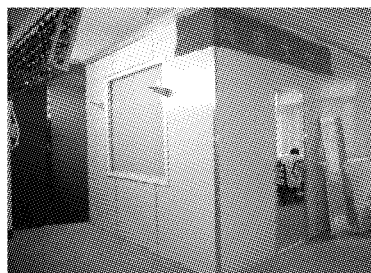
国内也重视自然采光在办公建筑中的应用^[13-18],研究遮阳设施对自然采光的影响,但是多处于利用现有软件模拟研究不同前提条件造成的区别,关于受行为影响、软件模拟中采用的控制逻辑的研究并不多见.

基于此,在实验室内模拟搭建一个照度较低的办公区域,要求自愿参加实验的人员(受试人员)进入室内完成阅读和书写工作,以模拟人员刚到办公室的条件.设置初始照度低的原因是迫使受试人员进入室内后必须调节遮阳或者照明,从而完成他们的工作.完成工作、走出实验室的受试人员还接受访谈,分析他们选择调节方式的原因.整个实验的目的是研究在最不利条件下,刚进入室内的人员对于遮阳-照明的行为调节模式,优化遮阳-照明控制模拟软件的控制逻辑,使模拟结果更接近实际.

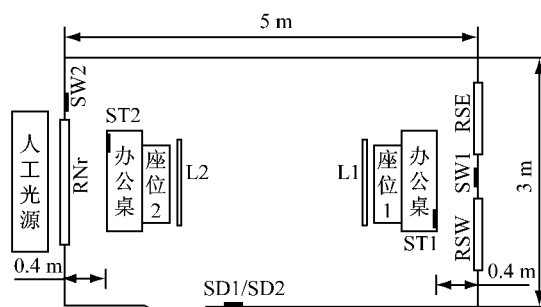
1 实验方案

1.1 实验室布置

实验室的空间尺寸(5 m×3 m×2.8 m)、内部布置参照现有小型办公室:南侧开有两个窗户,0.85 m×1.85 m,离地高 0.95 m,面向室外;北向有一个窗户,1.5 m×1.5 m,离地高 0.95 m,面向人工光源(见图 1).办公室四周墙壁和顶面的光反射率为 0.65,地面是常规水泥地面,反射率为 0.32.从南向北,室内均匀安装了两组 T8 的日光灯 L1 和 L2(共四只 36 W 的荧光灯),悬吊于顶面下,同时放置了两张办公桌,桌面上有台灯,参加实验的人员座位均面向窗户.



a 实物图



b 室内布局图

图 1 实验室布局

Fig.1 Layout of laboratory

三个窗户均安装有内卷帘,南向东侧窗户的遮阳标号为 RSE,采用手动控制,南向西侧遮阳为 RSW,采用固定开关的电动控制,北向遮阳为 RNr,采用遥控式的电动控制.照明开关为双路控制,可以实现三种不同位置上的控制,分别用于控制照明 L1 和 L2 的开关位置 SD1/SD2 在门口处,开关位置 ST1/ST2 分别设置在工作桌面处,开关 SW1 和 SW2 设置在墙面处.室内布局详图如图 1b 所示.

1.2 实验场景的初始设置

开始时,实验室内的照明关闭、遮阳帘落下,保持室内平均照度(20 lx)远低于接待处照度(200 lx).根据受试人员进入室内调节照度的可能途径不同,实验分为五组,见表 1.

1.3 受试对象和实验安排

实验中的受试人员来自大学一年级新生,没有接受过任何专业培训和教育,每一组参加实验的同学数量是 30 人,各组同学不重复.

为了避免室内外热环境的影响,实验时间安排在 9 月的中下旬,具体时间为 2011 年 9 月 14 日到 9 月 25 日.实验期间,室外日平均温度在 20~32℃,室内热环境基本可以满足人员舒适性需求.另外,每人进入实验室对照明和遮阳进行调节后,约用 15~20 min 进行问卷填写.

表1 实验场景设置与采光调节途径

Tab.1 Background set and day-lighting control

| 实验 | 实验条件 | 实验场景初始设置 | 受试人员调节照度的途径 |
|----|-----------|------------------------|---|
| 1 | 遮阳与照明均可调节 | 照明全闭,遮阳全闭,两桌面对窗而放 | 遮阳开关 RSE, RSW, RNr; 照明开关 SD1/SD2 |
| 2 | | 照明全闭,遮阳全闭,两桌面对窗而放 | 遮阳开关 RSE, RSW, RNr; 照明开关 SD1/SD2, SW1/SW2 |
| 3 | 遮阳不可调 | 照明全闭,遮阳全闭且不可调,两桌面对窗而放 | 照明开关 SD1/SD2, ST1/ST2 |
| 4 | | 照明全闭,遮阳全闭且不可调,两桌面对窗而放 | 照明开关 SD1/SD2, SW1/SW2 |
| 5 | 照明不可调 | 照明全闭且均不可调,遮阳全闭,两桌面对窗而放 | 遮阳开关 RSE, RSW, RNr |

2 实验结果

2.1 遮阳与照明开关均可调节情形

实验1和2的统计结果见图2。两组实验中大多数人(55%)选择单纯升起遮阳帘方式,仅有9人选择单纯开灯方式(其中4人选择入口处灯具开关,5人选择墙面灯具开关),另有4人没有任何动作,主要是中午桌面照度比较高的时候。实验中有23%的人选择同时使用灯具和遮阳帘,其中有1人选择了入口处灯具开关,同时升起所有遮阳帘;10人选择入口处灯具开关和南向遮阳帘,2人选择入口处灯具开关和北向遮阳帘,1人选择墙面灯具开关和南向遮阳帘。无论何种选择,选择南向遮阳帘和南边灯具的人占绝大多数。

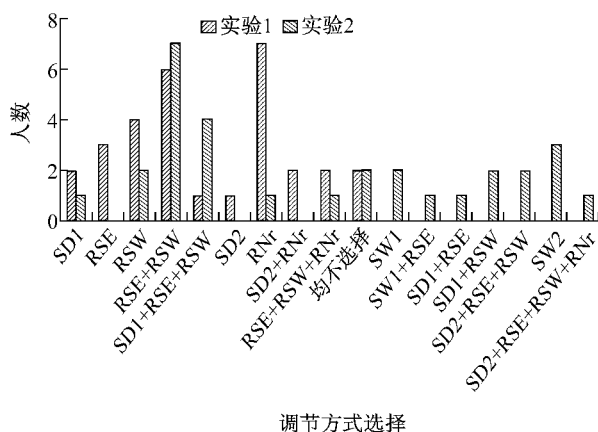


图2 实验1和2中选择遮阳/照明调节的人数

Fig.2 Choices of shading and lighting control for Case 1 and Case 2

2.2 遮阳开关不可调情形

图3和4反映了实验3和4的统计结果。尽管入口处照明开关非常普遍,但是放置于桌面上的照明开关在实验中更具有吸引力(实验3中选择桌面开关的人数为50%)。而实验4显示,相对于不太方便的墙面开关,有16人选择入口处开关,占实验人数的53%。对实验3数据的进一步分析发现,选择开

启L1的人员偏爱桌面开关,选择L2的人员偏爱入口处开关。

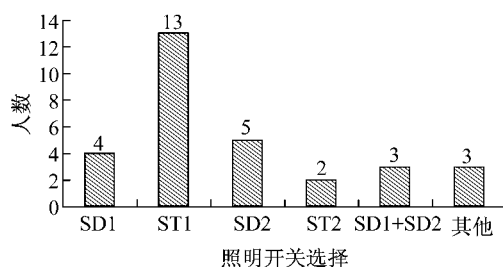


图3 实验3中照明开关的选择人数

Fig.3 Numbers of volunteers to select lighting switch in Case 3

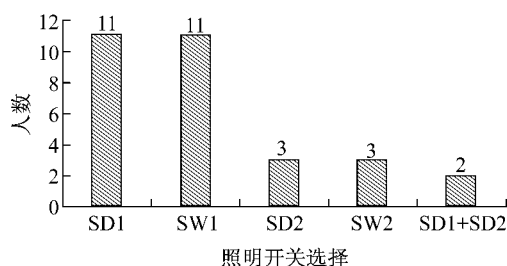


图4 实验4中照明开关的选择人数

Fig.4 Number of volunteers to select lighting switch in Case 4

2.3 照明开关不可调情形

如果只有遮阳设施可以调节(实验5),上、下午的人数均为15人,超过3/4的受试人员选择南向遮阳帘(见图5)。其中选择全部遮阳帘的人比较少(3.5%),仅选择南向RSE遮阳帘的人次之(17%),有33%的人同时选择南向两个遮阳帘。

3 讨论

3.1 影响遮阳与人工照明选择模式的因素

在参加实验的150人中,即使在灯具可用的前提下,仍有超过75%的人选择升起南向遮阳帘增加室内照度。在后期的访谈中,受试者给出的主要原因是:视野、通风和采光的需求,以及长期的生活习惯。即使无法自然采光,受试者选择南边灯具和座位的

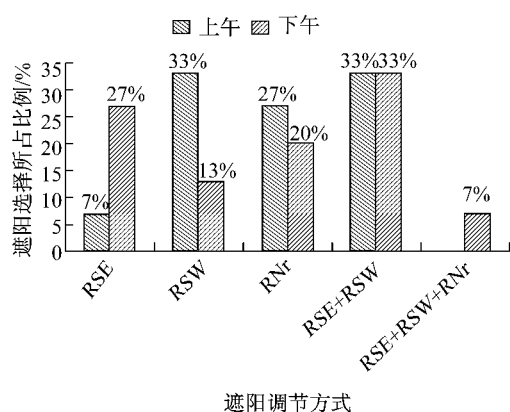


图5 只有遮阳开关可调时的选择结果

Fig.5 Selection results for shading device control only

人在实验3和4中的比例分别为67%和80%，占绝大多数。这种心理预期和生活习惯也影响了受试者对于座位的选择(见图6)，有70%~83%的受试人员放弃最靠近入口的座位2，而选择较远、但靠自然光源的座位1。

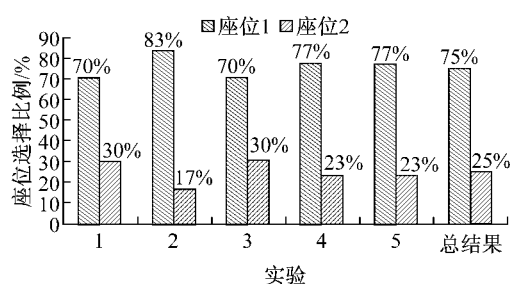


图6 座位选择实验统计结果

Fig.6 The statistical results for selection of seats

当其他条件相当时，便于操控原则对行为有重要影响。实验1和2中，选择灯具的23位受试者中，有17人使用入口处开关。实验3和4中选择开启L1的人员偏爱桌面开关，选择L2的人员偏爱入口处开关，而必须绕过办公室才能控制的墙面开关无论是实验还是访谈统计都是最后的选择。同样现象出现在遮阳帘的选择上，在实验1、2和5中，单独选择遮阳RSE的人数共有8人，占实验人数(90人)的8.8%，主要原因是RSE的位置靠东南，与RSW、RNr相比不太方便。

生活习惯和心理预期的共同作用，将导致人员行为结果很复杂。例如在实验1和2中，有13人(22%)打开入口处开关后升起遮阳帘，既反映了习惯使然，也是自然偏爱性的必然结果。

立面照度对于人员行为的影响也非常明显。在实验5升起南向遮阳帘的人群中(见图5)，上午的受试人员倾向于升起西侧遮阳帘，下午倾向于升起东

侧遮阳帘，主要是由于上午的光线主要从东侧的南向窗户射入，下午则相反，以避免直射阳光的干扰。

3.2 室外气象条件对采光调节模式的影响

尽管遮阳帘的落下行为受到室外照度、太阳辐射、温度等条件的影响，但在以光调节优先的前提下，进入照度不足的空间后，无论室外天气条件如何，多数受试人员倾向于升起遮阳帘。根据实验结果建立的各水平照度条件下遮阳-照明行为选择及概率见表2。

表2 不同室外照度水平下遮阳-照明选择行为及其概率

Tab.2 The choices and probabilities of shading-lighting by different outdoor illuminations

| 选择方式 | 室外照度/lx | | | /% |
|--------|---------|---------------|---------------|----|
| | <30 000 | 30 000~50 000 | 50 000~80 000 | |
| 照明开启 | 56 | 7 | — | |
| 遮阳升起 | 11 | 73 | 56 | |
| 两者均选择 | 33 | 20 | 9 | |
| 两者均不选择 | — | — | 35 | |

3.3 遮阳-照明开启行为的逻辑模型

在以上结果的基础上，本部分以文献[12]的遮阳控制逻辑为基础，对室内人员通过手动或者电动控制的逻辑进行修正，见图7。

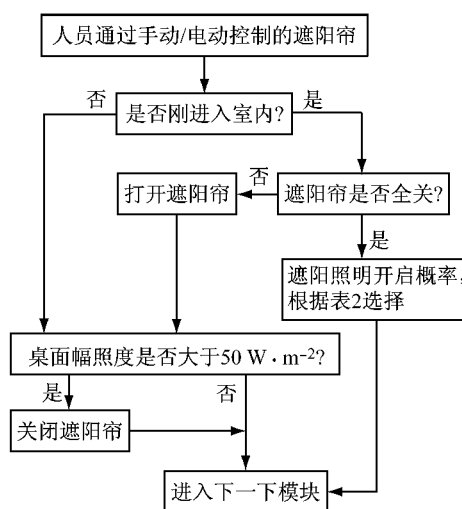


图7 修正后的遮阳-照明开启逻辑模型

Fig.7 The revised logic model of shading-lighting

4 结语

无论室外照度如何，在不影响私密性的前提下，升起遮阳帘是室内人员接近自然的心理需求。保持室内遮阳帘落下、维持较低的室内照度，有利于刚进入室内的人员升起遮阳帘、利用自然采光，满足心理需求。同时，由于影响室内人员行为的因素很多，刚

进入室内的人员进行遮阳-照明的行为具有很强的随机性,但也存在一定的统计概率,根据此行为统计概率完善建筑能耗模拟软件的遮阳-照明控制逻辑,有助于提高软件的真实性和准确性。

本文是以学生为主的实验,研究工作刚刚开始,特别是参与实验的人员目前仅限于大学生,因此还需要进一步的实验研究以完善相关结果。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国建设部. GB50189—2005 公共建筑节能设计标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2003.
China State Construction. GB50189—2005 Design standard for energy efficiency of public building [S]. Beijing: China Building Industry Press,2003.
- [2] Galasiu A D, Atif M R, MacDonald R A. Impact of window blinds on daylight-linked dimming and automatic on/off lighting controls [J]. Solar Energy, 2004,76(5):523.
- [3] Roisin B, Bodart M, Deneyer A, et al. Lighting energy savings in offices using different control systems and their real consumption [J]. Energy and Buildings, 2008, 40:514.
- [4] Sebastian Herkel, Ulla Knapp, Jens Pfafferoth. Toward a model of user behavior regarding the manual control of windows in office building [J]. Building and Environment, 2008, 43:588.
- [5] Michelle Foster, Tadj Oreszczyn. Occupant control of passive systems: the use of Venetian blinds [J]. Building and Environment, 2001, 36:149.
- [6] Inoue T, Kawase T, Ibamoto T, et al. The development of an optimal control system for window shading devices based on investigations in office buildings [J]. ASHRAE Transactions, 1988, 94(2):1034.
- [7] Foster M, Oreszczyn T. Occupant control of passive systems: the use of Venetian blinds [J]. Building and Environment, 2001, 36:149.
- [8] Newsham G R, Manual control of window blinds and electric lighting: implications for comfort and energy consumption [J]. Indoor Environment, 1994, 3:135.
- [9] Georg A, Graf W, Schweiger, et al. Switchable glazing with a large dynamic range in total solar energy transmittance (TSET) [J]. Solar Energy, 1997, 62(3): 215.
- [10] Mohammadi A, Kabir E, Mahdavi A, et al. Modeling user control of lighting and shading devices in office buildings: an empirical case study [C] //Proceedings: Building Simulation. [S.l.]:IBPSA, 2007: 772-778.
- [11] Hunt D R G. Predicting artificial lighting use a method based upon observed patterns of behavior [J]. Lighting Research & Technology, 1980, 12(1):7.
- [12] Reinhart H F. Lightswitch-2002: a model for manual and automated control of electric lighting and blinds [J]. Solar Energy, 2004, 77:15.
- [13] 刘雅凝. 办公建筑的天然采光与能耗研究[D]. 天津:天津大学,2008.
LIU Yaning. The research of daylighting and energy consumption on office building consumption on office building [D]. Tianjing: Tianjin University, 2008.
- [14] 刘炜,王晓静,曾礼强. 办公室光环境设计要素[J]. 照明工程学报,2007,18(3):36.
LIU Wei, WANG Xiaojing, ZENG Liqiang. Design of office buildings lighting environment [J]. Lighting Engineering, 2007, 18(3):36.
- [15] 彭鹏. 公共建筑昼光照明能耗特性的研究[D]. 重庆:重庆大学,2006.
PENG Peng. Study on the energy consumption characteristics of daylighting in commercial buildings [D]. Chongqing: Chongqing University, 2006.
- [16] 余理论. 建筑外遮阳对室内光环境的影响研究[D]. 重庆:重庆大学,2010.
YU Lilun. Research on the effect of external shading for the indoor light environment [D]. Chongqing: Chongqing University, 2010.
- [17] 李峥嵘,潘欣钰,冯闻,等. 基于光热性能的南向遮阳措施节能降耗模拟研究[J]. 建筑节能,2011(10):57.
LI Zhenrong, PANG Xinyu, FENG Wen, et al. Simulation to energy-saving of shading devices for the south orientation based on the daylighting and heat-proof performance [J]. Energy Saving, 2011(10):57.
- [18] 李峥嵘,张海东,郁盛,等. 高反射率涂层在空调建筑中的应用[J]. 同济大学学报:自然科学版,2009,37(3):378.
LI Zhengrong, ZHANG Haidong, YU Sheng, et al. Application of high-reflective coating for air-conditioned building wall [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2009, 37(3): 378.