

PLC 在建筑外遮阳调控系统中设计与分析

李 杜*, 陈永明

(盐城工学院 电气工程学院, 江苏 盐城 224001)

摘要: 采用 PLC 集成控制技术实现遮阳调控系统智能化. 通过各种传感器实时自动检测光强、温度以及风力等变化, 利用数学模型和建筑阴影模型, 经多参量数据分析计算出合理的遮阳板角度, 控制驱动电动机, 统一调节建筑的室外遮阳板. 利用 PLC 控制与遮阳板相结合, 不仅可以有效减少建筑物供暖成本和空调的冷负荷, 而且还可以最大限度地扩大建筑的自然采光. 遮阳板的 PLC 控制系统可以在建筑节能领域发挥重要作用.

关键词: 调控系统; 遮阳角度; 建筑采光; 遮阳系数

中图分类号: TU113

文献标识码: A

doi: 10.7511/dllgxb201605009

0 引言

居住建筑外窗作为建筑外围护结构的重要组成部分, 其能耗约占建筑总能耗的 30%, 而在严寒地区, 其能耗甚至高达 40%^[1]. 因此, 建筑外窗及外窗遮阳的节能与研究^[2-6]是中高纬度地区建筑节能的关键措施. 同时, 建筑内舒适环境的营造需要自然采光与自然景观. 建筑中照明能耗占总能耗的 40%~50%, 而且, 由灯具产生的废热所引起的冷负荷的增加占总能耗的 3%~5%, 合理设计和采用自然采光能够节约照明能耗 50%~80%^[7].

居住建筑外窗的遮阳方法共分两类: 固定式遮阳和可调控式遮阳. 可调控式遮阳可以根据太阳高度角的不断变化来改变遮阳设置, 保证一天中大部分时间能够保持最好的遮阳效果; 而固定式遮阳仅能在一天中的某个时刻或者太阳在某个角度才能发挥最好的遮阳效果. 采用固定式遮阳方法, 建筑节能率最高值为 58.52%; 而采用可调控的水平遮阳时这一比例可达 72.67%^[8].

1 系统设计原则

居住建筑外窗遮阳的工作原理在于通过阻断直射阳光透过玻璃进入室内, 为建筑室内营造舒

适的热环境, 降低室内温度和空调负荷, 从而降低建筑能耗, 达到节能效果. 对于居住建筑外窗的遮阳设置, 夏季在白天时段应尽可能减少进入室内的太阳辐射, 以降低空调负荷, 并营造良好的室内光环境; 冬季应尽可能增大进入室内的太阳辐射^[9]. 同时, 建筑外遮阳在保证最大限度减小建筑能耗原则的基础上, 应尽量扩大建筑室内自然光的采光率, 创造良好、舒适的室内环境.

本文的遮阳调控系统设计以南京地区典型气象年气象为依据, 对该地区居住建筑南向外墙遮阳板的构造进行建模分析, 根据遮阳板在不同遮阳角度下的遮阳系数进行分析比较, 探索适应南京地区居住建筑南墙外窗活动水平外遮阳的调控策略.

南京属于典型的北回归线以北的夏热冬冷型城市, 应采用水平式外遮阳, 方可达到最佳遮阳效果. 而冬季寒冷、夏季湿热的气候特点决定了南京地区居住建筑节能必须兼顾冬、夏两个方面. 居住建筑外窗需要采用随太阳高度角和方位角进行调节的可调控式遮阳, 以满足对遮阳效果的要求.

2 系统控制流程

本文采用 PLC 集成控制技术实现遮阳调控系统智能化, 以时间为原则进行控制, 事先根据太

阳在不同季节与每天不同起落时间的位置进行设置. 遮阳调控系统能够准确地使电机在设定的时间进行建筑外遮阳板角度的调节. 同时根据分布在建筑各处的感应装置采集室外环境参数, 进一步根据天气情况达到室内环境最优化.

PLC 控制系统的输入信号如图 1 所示, 共分为 4 种: 位置信号、光信号、风信号、雨信号. 信号由传感器发出, 而传感器由传感元件、信号处理电路、无线收发电路等模块组成, 采用无线收发. 遮阳板的初始位置设定在关闭的位置上, 即遮阳角度为 0° . 遮阳板的角度转动根据此位置作相对的运作. PLC 控制系统根据太阳的轨迹曲线, 通过定时器的设置, 使遮阳板在特定时刻转动到合适的位置, 得到遮阳与能耗的综合最佳效果. 同时, 除了晴朗的天气外, 系统还需考虑刮风、下雨等恶劣天气的影响. 因此, 遮阳板附近还应安装风传感器、雨传感器与光传感器, 通过对传感器信号的处理, PLC 控制系统会在遭遇大风或者阴雨天气时将遮阳板设置成安全模式以保护遮阳板不受损坏.

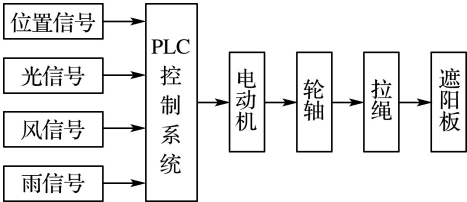


图 1 控制流程图
Fig.1 The control flow chart

3 系统结构设计

3.1 遮阳板结构设计

南墙外窗的遮阳板安装示意图如图 2 所示. 从图 2 可见, 遮阳板与墙体之间采用铰链连接, 遮阳板拉绳轮轴的正反转由管状电机进行驱动, 电机为螺旋线型驱动装置, 使用三相电源 220 V, 与电源箱可安装在遮阳板附近. 拉绳轮轴安装在构造横梁内, 轮轴的正反转控制拉绳的伸缩, 拉绳带动遮阳板转动. 遮阳板两端安装向上倾斜 45° 的挂钩, 拉绳安装在挂钩上. 同时拉绳的顶点与墙壁的接触处安装位置传感器, 向 PLC 控制系统传递拉绳的位置信号. 轮轴正转驱使拉绳拉伸, 使遮阳板闭合, 与窗户角度变小; 轮轴反转驱使拉绳缩短, 使遮阳板张开, 与窗户角度变大.

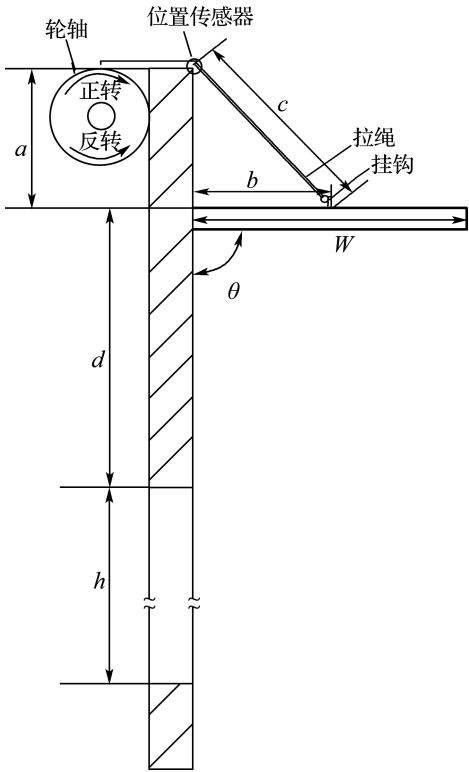


图 2 遮阳板安装示意图
Fig.2 The installation diagram of shading

3.2 传感器设置

本文作为研究对象的南窗取长 1.5 m、宽 1.5 m. 根据相关研究, 遮阳板长度宜取 0.4 m, 遮阳板距窗户上沿的距离宜取 0.4 m^[3]. 因此, 窗户的高度为 h , 取 1.5 m; 窗户上沿与遮阳板的距离为 d , 取 0.4 m; 遮阳板与建筑窗户的角度为 θ ; 遮阳板的长度为 W , 取 0.4 m; 遮阳板与拉绳顶端的距离为 a , 取 0.2 m; 拉绳底点与建筑外墙之间的遮阳板长度为 b , 取 0.2 m; 拉绳底点与拉绳顶端之间的拉绳长度为 c , $c = [a^2 + b^2 - 2ab\cos(180^{\circ} - \theta)]^{1/2}$. 其中位置信号由位置传感器传出, 安装在拉绳顶点与墙壁的接触处, 同时在拉绳中不同的长度位置安装芯片, 芯片可以裹在薄的密封塑料薄膜中进行防水. 当拉绳中的芯片与位置传感器接触时, 向 PLC 控制系统发出位置信号. 比如, 当遮阳板与窗户的角度是 90° 时, 拉绳的长度 c 大约为 0.283 m. 那么以拉绳与遮阳板的接触点为起始点, 在拉绳的 0.283 m 处放置芯片, 当此芯片接触位置传感器时, PLC 控制系统便接收到位置信号. 在本系统的芯片位置设置中, 可以将遮阳板角度调整的精度设定为 10° . 芯片的放置位置见表 1.

而另外 3 种气象传感器: 光传感器可采用热

敏电阻 Pt1000 和硫化镉光敏电阻,由 PLC 控制系统设定强度,当日照光强度低于设定值时,代表当日为阴天;风传感器根据遮阳板的机械强度设定风速等级,当风力超过设定极限值时,代表当日风力对遮阳板有害,应该闭合遮阳板保护其不受损伤;雨传感器能测定是否有室外的雨水进入室内,如果有,代表当日雨水已经影响到室内,应该闭合遮阳板防止雨水进入室内.这 3 种气象传感器的相应动作应当自动进行,可以在恶劣的气候条件下保证遮阳板的安全使用.

表 1 芯片位置

Tab. 1 The location of chips

遮阳板角度/(°)	芯片位置/m	遮阳板角度/(°)	芯片位置/m
0	0.400	50	0.363
10	0.398	60	0.346
20	0.394	70	0.328
30	0.386	80	0.306
40	0.376	90	0.283

3.3 PLC 控制硬件连接

PLC 控制系统主机采用 TCP/IP 协议与分布在遮阳板附近的现场控制器通信,主要用于传达控制主机的控制指令和反馈遮阳板状态.该系统通过 RS232 接口与三菱 FX2N-32MR 进行通信,并对整个控制系统进行在线监控. PLC 控制硬件接线图如图 3 所示.

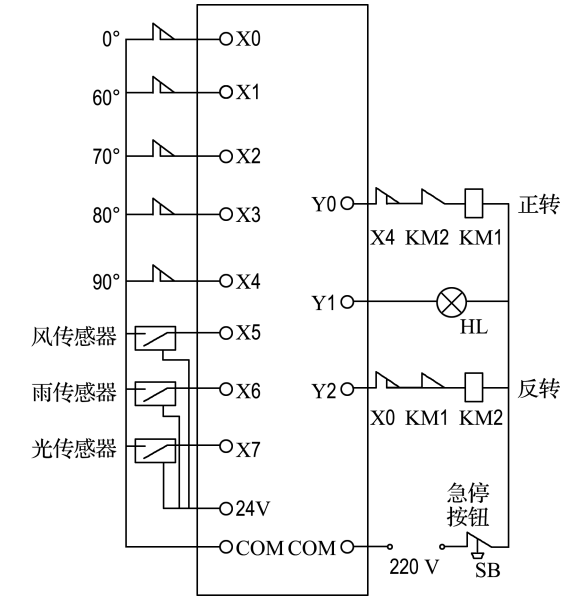


图 3 PLC 控制硬件接线图

Fig. 3 The hardware wiring diagram of PLC control

4 系统功能设计

4.1 系统数据分析

建筑外窗遮阳措施的重要功能是阻断直射阳光透过玻璃进入室内,从而降低室内温度和空调负荷,减少建筑能耗,达到节能效果.因此遮阳板角度也应参考基于建筑节能因素的遮阳系数进行确定,其定义是采用外遮阳措施后建筑外窗太阳辐射引起的全年建筑能耗与无遮阳时建筑外窗太阳辐射引起的全年建筑能耗的比值,表达式如下:

$$S=\frac{q_2-q_3}{q_1-q_3}$$
 (1)

式中: q_1 为建筑模型无遮阳情况下模拟得到的建筑能耗; q_2 为对外窗设定遮阳板后模拟得到的建筑能耗; q_3 为对外窗设定窗玻璃遮阳系数为零,但外窗不设遮阳措施,模拟得到的建筑能耗.

而外遮阳系数计算公式如下:

夏季

$$S_s=a_sP^2+b_sP+1$$
 (2)

冬季

$$S_w=a_wP^2+b_wP+1$$
 (3)

式中: a 、 b 为拟合系数,根据式(1)在能耗计算中按照二次回归拟合得到,针对本次研究对象,夏季 a_s 取值 0.35、 b_s 取值-0.65,冬季 a_w 取值 0.10, b_w 取值-0.45. P 为遮阳板外挑系数,计算公式为

$$P=\frac{W\cdot\sin\theta}{H-W\cdot\cos\theta}$$

式中: W 为遮阳板长度; H 为遮阳板到窗户下沿的距离, $H=h+d=1.9\text{ m}$; θ 为遮阳板与墙壁外窗之间的角度.

南京地区南墙窗户的水平遮阳板各段角度在冬夏季基于建筑节能的外遮阳系数在冬夏季的变化规律计算结果如图 4 所示.

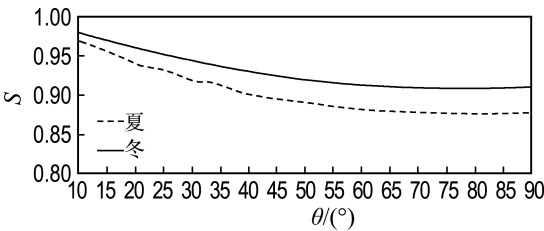


图 4 基于建筑节能的外遮阳系数计算结果

Fig. 4 Calculation result of shading coefficient based on building energy saving

图 4 中横坐标为遮阳板与外窗形成的角度,纵坐标为遮阳板基于建筑节能因素计算出来的遮阳系数.如图 4 所示,当遮阳板在遮阳角度 $10^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 调节时,遮阳系数呈稳步下降的趋势;而当遮阳板的遮阳角度在 $60^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 调节时,遮阳系数的计算值趋于稳定,并且夏季遮阳系数稳定于 0.88,冬季遮阳系数稳定于 0.91.因此,从遮阳系数可以看出,遮阳板的遮阳角度在 $60^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 调节时,遮阳系数处于稳定状态,节能效果基本一致.

建筑遮阳应尽量采用自然光,同时保证建筑最大限度的自然通风与自然景观.因此遮阳板角度可采用基于遮阳板遮阳效果的遮阳系数进行确定.遮阳系数是指遮阳板在太阳光照射下形成的外窗日影区面积与外窗表面积之比,计算公式可表示为

$$K=\frac{W_{\text{ime}}}{H}=\frac{\frac{W\cdot\sin\theta}{\cos r_{s,w}\cdot\cot h_s}+W\cdot\cos\theta}{H}\quad(4)$$

式中: W_{ime} 为遮阳板形成的阴影长度; H 为遮阳板到窗户下沿的距离, $H=h+d=1.9\text{ m}$; W 为遮阳板长度; θ 为遮阳板与墙壁外窗之间的角度; $r_{s,w}=|A_s-A_w|$, A_s 为太阳方位角, A_w 为墙面方位角; h_s 为太阳高度角, $\sin h_s=\sin\phi\sin\delta+\cos\phi\cos\delta\cos\omega$, ϕ 为地理纬度, δ 为太阳赤纬角, ω 为当时的太阳时角, $\omega=(t-12)\times 15^{\circ}$, t 在 $0\sim 24$ 时,每间隔 1 h 相差 15° .

以 3 月 1 日为例,各个时间段的基于遮阳效果的遮阳系数计算结果如图 5 所示.

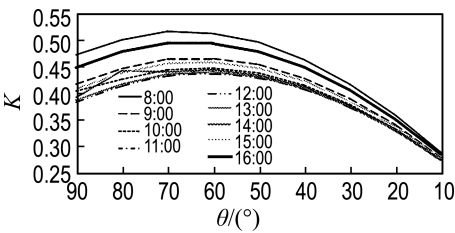


图 5 典型气象年 3 月 1 日基于遮阳效果的遮阳系数

Fig. 5 Shading coefficient based on shading effect on 1st March of typical meteorological year

3 月 1 日正是南京的春季,阳光明媚,因此室内应该尽量提高自然光的采光率与自然通风.通过图 5 可以发现,在 3 月 1 日的各个时间段,遮阳板的遮阳效果整体上并非是随着遮阳角度的增大

而减小的.在遮阳角度在 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 时,遮阳系数达到峰值,然后才随着遮阳角度的减小而减小.因此,在遵循尽量提高自然光采光率的原则下,遮阳角度应该选择偏小的数值.

因此,综合建筑节能与自然采光双重因素,3 月 1 日遮阳角度的调控策略见表 2.

表 2 遮阳角度调控策略

Tab. 2 The control strategy of shading angle

时间	遮阳角度/($^{\circ}$)	时间	遮阳角度/($^{\circ}$)
8:00	70	13:00	60
9:00	60	14:00	60
10:00	60	15:00	60
11:00	60	16:00	70
12:00	60		

4.2 实时监测功能

如图 6 所示, X_5 、 X_6 、 X_7 分别为风传感器、雨传感器与光传感器的输入信号. X_0 为遮阳角度为 0° 时的限位开关, X_4 为遮阳角度为 90° 时的限位开关.当遮阳板上承受的风压超过设定值或当时为阴雨天气时, Y_1 便会有信号输出,使遮阳板闭合,直至遮阳角度为 0° .

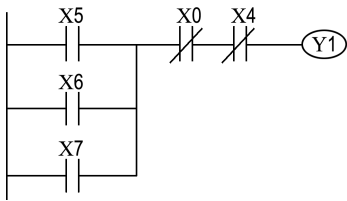


图 6 信号传感器程序

Fig. 6 The program of signal sensor

4.3 定时功能

在 PLC 控制系统中,有 7 个实时时钟用的特殊辅助寄存器 $D8013\sim D8019$,用于存放年、月、日、时、分、秒和星期.图 7 中的 $D8015$ 为存放 $0\sim 23$ 时的实时时钟用特殊辅助寄存器.根据表 2 与表 3 设置,当 $D8015$ 为 8(8:00)时, $M12$ 设置为 1;当 $D8015$ 为 9 至 15(9:00 至 15:00)时, $M11$ 设置为 1;当 $D8015$ 为 16(16:00)时, $M12$ 设置为 1.

4.4 遮阳角度调控功能

如图 8 所示,当实时时钟用的秒钟寄存器 $D8013$ 与分钟寄存器 $D8014$ 为 0 时,即为整点时间时, M_0 发出一个脉冲信号.于是, M_0 常开开关闭合,编码指令 $ENC0$ 将 X_0 开始的 8 位寄存器

中最高位的 1 进行编码,编码存放在 D0 寄存器的低 3 位中;同时将 M10 开始的 8 位寄存器中最高位的 1 进行编码,编码存放在 D1 寄存器的低 3 位中. M1 线圈得电自锁,接通比较指令 CMP D0 D1 Y0,当 D0>D1 时,Y0=1,轮轴正转,遮阳角度开始缩小;当 D0=D1 时,Y1=1,轮轴保持不动,遮阳角度不变;当 D0<D1 时,Y2=1,轮轴反转,遮阳角度开始扩大.

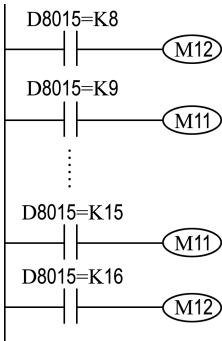


图 7 对时程序

Fig. 7 The program of time tick

表 3 遮阳角度设定

Tab. 3 The shading angle setting

遮阳板角度/(°)	中间继电器	遮阳板角度/(°)	中间继电器
90	M14	60	M11
80	M13	0	M10
70	M12		

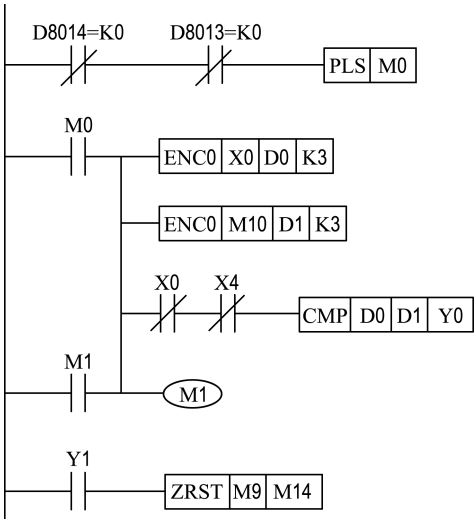


图 8 遮阳板转动程序

Fig. 8 The program of shading rotation

假设遮阳板在夜间的遮阳角度为 0°,当时间到达 8:00 时,PLC 控制系统开始运作.在 8:00

前,遮阳板遮阳角度为 0°,输入信号 X0 为 1,D0 的编码结果为 1,到达 8:00 时,D8015=K8,M12 为 1,于是 D1 的编码结果为 3.经过 CMP D0 D1 Y0 指令进行比较,得 D0<D1,Y2=1,遮阳板角度扩大.当扩大至 70°,输入信号 X2 为 1,D0 的编码结果为 3.于是 D0=D1,Y1=1,轮轴停止转动,辅助继电器 M9~M14 复位.

5 结 语

基于 PLC 的遮阳板可调控遮阳系统以节能为目的,是从功能要求到控制模式、信息采集、执行命令、传动机构的全过程控制系统.在研究中发现:建筑节能效果随着遮阳板角度的增大而减小.当遮阳板角度由 0°~60°变化时,变化趋势偏大;当遮阳板角度增大到 60°及以上时,节能效果趋于稳定.同时综合考虑建筑节能与遮阳效果,遮阳板的角度应在 60°~90°调节.该遮阳系统具有以下几种优点:

(1)本系统采用基于建筑节能的数学计算模型与建筑采光的建筑阴影模型来判断南向遮阳板各个时间段遮阳角度的合理值,在有效地减少建筑物供暖成本和空调冷负荷的原则下,可最大限度地遮蔽夏季的阳光、扩大冬季的日照,保证建筑节能.

(2)本系统是对太阳辐射和采光等环境因素的被动节能控制措施,它能够实时调节遮阳状态,没有滞后性,将对建筑节能发挥重要作用.

(3)本系统采用 PLC 作为控制核心,降低了人工控制带来的不准确性和不合理性.

(4)本系统采用的 PLC 具有远程通信功能,有利于与楼宇自动化系统整合,方便进行分布管理.

参考文献:

[1] 张甫仁,胡启国.住宅建筑窗的水平遮阳方式优化设计及节能分析[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版),2007,39(5):695-700.
ZHANG Fu-ren, HU Qi-guo. Optimal design and energy saving analysis of horizontal shading device in residential buildings [J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology (Natural Science Edition), 2007, 39 (5): 695-700. (in Chinese)

- [2] 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(自然科学版), 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 (Natural Science Edition)**, 2001, **33**(3):212-217. (in Chinese)
- [3] 曹国庆,涂光备,杨 斌. 水平遮阳方式在住宅建筑南窗遮阳应用上的探讨[J]. 太阳能学报, 2006, **27**(1):96-100.
CAO Guo-qing, TU Guang-bei, YANG Bin. Study of optimum horizontal shading device dimensions for energy saving in residential buildings [J]. **Acta Energiae Solaris Sinica**, 2006, **27**(1):96-100. (in Chinese)
- [4] Nikhil K K. A comparative analysis of the radiant effect of external sunshades on glass surface temperatures [J]. **Solar Energy**, 2004, **77**(4):407-419.
- [5] Offiong A, Ukpoho A U. External window shading treatment effects on internal environmental temperature of buildings [J]. **Renewable Energy**, 2004, **29**(14):2153-2165.
- [6] 张 欢,杨 斌,杨向劲,等. 住宅建筑南向墙遮阳板尺寸设计及节能潜力分析[J]. 天津大学学报, 2004, **37**(7):610-613.
ZHANG Huan, YANG Bin, YANG Xiang-jin, *et al.* Design and energy-saving potentiality of exterior shade on southern windows for residential buildings [J]. **Journal of Tianjin University**, 2004, **37**(7):610-613. (in Chinese)
- [7] 付祥钊. 夏热冬冷地区建筑节能技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
FU Xiang-zhao. **The Energy Saving Technology in the Region of Hot Summer and Cold Winter** [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2002. (in Chinese)
- [8] 田慧峰,孙大明,朱慧宾. 广州地区建筑外遮阳节能性能研究[J]. 建筑节能, 2007, **35**(10):27-30.
TIAN Hui-feng, SUN Da-ming, ZHU Hui-bin. Research of energy efficiency performance of building exterior shading in Guangzhou region [J]. **Building Energy Efficiency**, 2007, **35**(10):27-30. (in Chinese)
- [9] DING Yong, ZHANG Li-wen. Function analyses of external shading of window in building energy-saving [J]. **Journal of Central South University of Technology**, 2007, **14**(S1):143-146.

Design and analysis of PLC in building external shading control system

LI Du*, CHEN Yong-ming

(School of Electrical Engineering, Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224001, China)

Abstract: PLC integrated control technology is used in shading control system to realize the intelligence. This control system detects real-time data of light intensity, temperature and wind power by various sensors automatically and obtains data of appropriate shading angle through the analysis and computation of multiple parameters by using mathematical model and building shading model, then controls the drive motor to regulate building external shading together. The combination of PLC control and shading can not only reduce building heating costs and air conditioning cooling load, but also maximize the using of natural daylight. The PLC shading control system can play an important role in building energy saving area.

Key words: control system; shading angle; building lighting; shading coefficient