

双层皮幕墙内置遮阳百叶倾角评价方法*

陈友明[†],王京南,王衍金

(湖南大学 土木工程学院,湖南 长沙 410082)

摘要:为了更加科学合理动态调整双层皮幕墙(DSF)内置遮阳百叶的角度,满足自然采光和节能的双重需求,建立了受遮阳百叶倾角影响的室内综合得热量与平均采光系数的数学模型,通过对模拟结果的标准化处理和线性加权求和方法,建立了DSF内置遮阳百叶倾角评价模型.以长沙地区某建筑南向DSF为例,详细介绍了自然通风工况下,8:00至18:00时间段内,晴天及阴天典型日该双层皮幕墙百叶倾角评价模型的构建过程.通过模拟分析发现,长沙夏季晴天DSF遮阳百叶最佳倾角为 82° ,最佳倾角范围为 $73^\circ\sim 90^\circ$;长沙夏季阴天DSF系统遮阳百叶最佳倾角为 0° ,最佳倾角范围为 $0^\circ\sim 36^\circ$.

关键词:双层皮幕墙;遮阳百叶;评价方法;最佳倾角;动态控制

中图分类号:TU111.2

文献标志码:A

Evaluation Method of Blind Angle for Double Skin Facades

CHEN Youming[†], WANG Jingnan, WANG Yanjin

(College of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: In order to make the adjustment of blinds angle in double skin facades (DSF) more scientific and reasonable, the models of indoor comprehensive heat and average daylight factor were established, respectively. Based on the standardized process of the above two models, the evaluation model of the blinds angle of DSF was established by using the linear weighted method. The construction process of the angle evaluation model in Changsha under the condition of natural ventilation from 8 to 18 was introduced in detail. Through the simulation analysis, it is found that in sunny summer of Changsha, the optimum angle is 82° , and the optimum angle range of blinds is 73° to 90° . In cloudy summer of Changsha, the optimum angle is 0° , and the optimum angle range of blinds is 0° to 36° .

Key words: DSF; blinds; evaluation method; optimal fixed angle; dynamic control

遮阳百叶作为双层皮幕墙重要的遮阳设施,主要应用于夏季光照比较强烈的时间段.遮阳百叶在有效阻止过多太阳辐射进入室内、降低建筑能耗的同时,有效利用散射光进行室内采光,提高了室内自然采光的均匀性^[1].但是,不同的百叶倾角,会产生不同的建筑能耗和自然采光效果,这就需要合理调节百叶倾角,以达到节能性与光舒适性的合理统

一.由于经济原因,手动调节倾角的遮阳百叶仍大量应用在既有DSF遮阳系统中.手动调节百叶倾角,调整时间、角度受人的主观因素影响很大,很难满足自然采光和节能的双重需求.因此,在手动调节的前提下,通过确定最佳固定倾角的方式,尽量减少人为因素的影响是很有必要的.另外,虽然动态调整倾角的电动百叶逐渐应用,但是针对DSF系统的遮

* 收稿日期:2016-09-11

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51378185), National Natural Science Foundation of China(51378185)

作者简介:陈友明(1966—),男,湖南祁东人,湖南大学教授,博士

[†] 通讯联系人, E-mail: ymchen@hnu.edu.cn

阳百叶倾角动态控制理论仍不完善,因此研究 DSF 系统百叶倾角评价方法具有一定的实际价值.

许多学者就遮阳百叶对室内光、热环境的影响进行了研究. Bessoudo 等^[2]应用实验方法对带遮阳的双层皮幕墙建筑室内热环境进行了分析研究;程义华等^[3]应用数值模拟的方法对带遮阳百叶的双层皮幕墙的建筑能耗进行了研究,得出了内置遮阳百叶能够有效改善夏季室内热环境的结论;李峥嵘等^[4]通过 Energy-plus 对带外遮阳的单层窗系统不同倾角下的建筑能耗进行了模拟研究,得到了动态百叶有一定节能潜力的结论;Athienitis 等^[5]对带有外遮阳房间的光环境进行了模拟研究,提出了计算室内照度的模型;余理论等^[6]应用光照模拟软件研究了不同形式外遮阳对建筑室内光环境的影响;周颖等^[7]采用实验和静态光学软件模拟的方法,研究了双层皮幕墙不同参数对室内光环境和照明能耗的影响.从国内外相关研究中可看出,研究遮阳百叶对室内光环境或热环境单方面影响的文献较多,但对室内光热环境的综合研究较少;研究方法大多是采用现有能耗、光照软件模拟或实验的方法,应用繁复,不适应工程应用需要.

本文在综合考虑百叶倾角对室内得热和自然采光影响的基础上,应用线性加权求和方法建立 DSF 系统百叶倾角评价模型确定百叶最佳倾角,旨在更好地实现 DSF 系统遮阳百叶倾角的动态控制.

1 百叶倾角评价模型

百叶倾角对室内得热和自然采光的影响如图 1 所示.不同的百叶倾角,会产生不同的室内综合得热效果.这主要体现在,百叶倾角不同会造成透过 DSF 进入室内的太阳辐射热的差异;同时会造成遮阳百叶吸收太阳辐射和长波辐射的差异,进而引起室内得热的差异.另外,不同的百叶倾角会产生不同的遮阳效果而造成室内自然采光效果的差异.

鉴于 DSF 系统遮阳百叶对室内光热环境的影响,百叶倾角评价模型的评价指标分为室内综合得热指标和自然采光指标.应用线性加权求和方法^[8]建立 DSF 系统遮阳百叶倾角评价模型.

$$P = w_z f_z + w_c f_c \quad (1)$$

式中: P 为百叶倾角评价函数; f_z, f_c 分别表示室内综合得热指标和自然采光指标; w_z, w_c 分别表示室内综合得热指标和自然采光指标对应的权系数.

1.1 室内综合得热量

由图 1 可看出,DSF 系统百叶倾角通过影响透

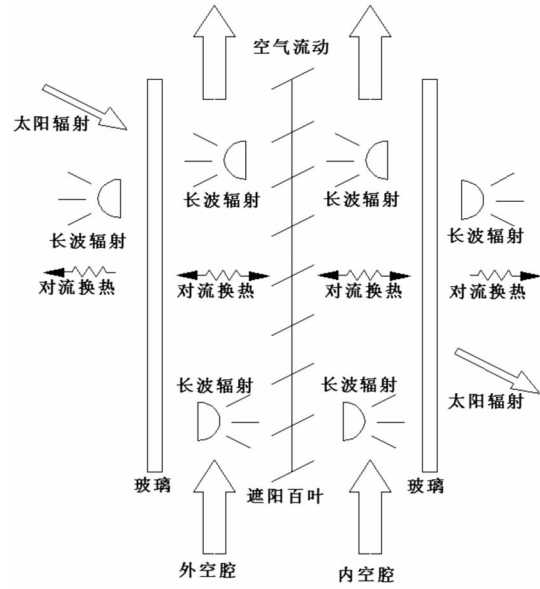


图 1 DSF 系统热量传递

Fig.1 Heat transfer in DSF system

过 DSF 的辐射热量和百叶吸收辐射热量,造成室内综合得热量 $Q_z(\theta)$ 的差异. $Q_z(\theta)$ 由式(2)计算.

$$Q_z(\theta) = Q_t(\theta) + Q_{x,d}(\theta) \quad (2)$$

式中: $Q_z(\theta)$, $Q_t(\theta)$, $Q_{x,d}(\theta)$ 分别为室内综合得热、透过 DSF 辐射热和百叶吸收辐射引起的室内得热, J.

1.1.1 透过 DSF 辐射热量

透过 DSF 的太阳辐射包括直射辐射和散射辐射.其中,直射辐射部分包括直射-直射辐射和直射-散射辐射^[9-10];散射辐射部分包括天空散射-散射辐射和地面反射散射-散射辐射^[9-10].透过 DSF 的辐射热量受到遮阳百叶倾角的制约.

$$E_{v,sky} = \gamma E_{h,d} \quad (3)$$

$$E_{v,gro} = 0.5 \rho_g (E_{h,d} + E_{h,D}) \quad (4)$$

$$E_{v,d} = E_{v,sky} + E_{v,gro} \quad (5)$$

$$E_{v,D} = \frac{\cos i}{\sin \delta} E_{h,D} \quad (6)$$

$$\epsilon = \frac{E_{h,d}}{E_{h,d} + E_{h,D}} \quad (7)$$

式中: $E_{v,sky}, E_{v,gro}$ 分别为垂直面天空辐射和地面反射散射辐射, W/m^2 ; $E_{v,d}, E_{v,D}$ 分别为室外垂直面散射辐射和直射辐射,其值由实验测得, W/m^2 ; $E_{h,d}, E_{h,D}$ 分别为室外水平面散射和直射辐射, W/m^2 ; γ 为天空散射方位角修正系数; ρ_g 为地面反射率,一般取 0.2; i 为壁面太阳方位角; δ 为太阳高度角; ϵ 为中间系数,表示室外水平方向散射占总辐射的比率.

根据式(3)至式(7)可得:

$$\epsilon = \frac{2\cos i E_{v,d} - \rho_g \sin \delta E_{v,D}}{2\cos i E_{v,d} + 2\gamma \sin \delta E_{v,D}} \quad (8)$$

$$E_{v,sky} = \frac{2\gamma\epsilon}{2\gamma\epsilon + \rho_g} E_{v,d} \quad (9)$$

$$E_{v,gro} = \frac{\rho_g}{2\gamma\epsilon + \rho_g} E_{v,d} \quad (10)$$

根据能量守恒及式(9),(10),可得透过 DSF 的辐射热量:

$$Q(\theta) = \frac{2\gamma\epsilon\tau_{sky}(\theta) + \rho_g\tau_{gro}(\theta)}{2\gamma\epsilon + \rho_g} A E_{v,d} + \tau_z(\theta) E_{v,D} A \quad (11)$$

式中: θ 为百叶倾角; $Q_t(\theta)$ 为透过 DSF 的太阳辐射热,J; $\tau_{sky}(\theta)$, $\tau_{gro}(\theta)$, $\tau_z(\theta)$ 分别为 DSF 系统天空散射-散射辐射透过率,地面反射散射-散射辐射透过率,DSF 直射-直射和直射-散射综合透过率,透过率计算详见文献[8-9]; A 为 DSF 面积, m^2 .

根据能量守恒原理,可得 DSF 系统综合透过率:

$$Q_t(\theta) = A\tau_{in}(\theta)(E_{v,d} + E_{v,D}) \quad (12)$$

$$\tau_{in}(\theta) = \frac{\frac{2\gamma\epsilon\tau_{sky}(\theta) + \rho_g\tau_{gro}(\theta)}{2\gamma\epsilon + \rho_g} E_{v,d} + \tau_z(\theta) E_{v,D}}{E_{v,d} + E_{v,D}} \quad (13)$$

式中: $\tau_{in}(\theta)$ 为 DSF 系统综合透过率.

1.1.2 百叶吸收辐射引起的室内得热

DSF 百叶吸收辐射引起的室内得热 $Q_{x,d}(\theta)$ 由 DSF 热平衡确定.在进行围护结构动态负荷计算时,为减少运算量、缩短运算时间,通常假设在一定的计算时间内围护结构处于热平衡状态.在这一假设下,计算时间内 DSF 遮阳百叶、内空腔及内侧玻璃的温度保持不变,得热量等于失热量.

如图 1 所示,在不考虑内外空腔气流横向流动时,百叶吸收太阳辐射和外侧玻璃的长波辐射,一部分热量通过对流换热传递给 DSF 热通道内外空腔,另一部分热量以长波辐射形式传递给内侧玻璃;内空腔从百叶吸热,得到的热量一部分以对流换热的形式传给内侧玻璃,另一部分通过内空腔气流运动排到室外或外空腔;内侧玻璃吸收内空腔的对流热、外侧玻璃和遮阳百叶的长波辐射热、太阳辐射热,再通过对流换热和长波辐射的方式将热量传入室内.

外侧玻璃与遮阳百叶,外侧玻璃与内侧玻璃,遮阳百叶与内侧玻璃的长波辐射换热量由下式计算:

$$Q_{c,wb} = \sigma\epsilon_{w,b}A(T_{bw}^4 - T_b^4) \quad (14)$$

$$Q_{c,wn} = \sigma\epsilon_{w,n}A(T_{bw}^4 - T_{bn}^4) \quad (15)$$

$$Q_{c,bn} = \sigma\epsilon_{b,n}A(T_b^4 - T_{bn}^4) \quad (16)$$

$$\epsilon_{a,b} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\epsilon_a} - 1\right) + \left(\frac{1}{\epsilon_b} - 1\right) + \frac{1}{F_{a,b}}} \quad (17)$$

$$F_{b,bn} = F_{b,bw} = 2 - \sin\left(\frac{90^\circ + \theta}{2}\right) - \sin\left(\frac{90^\circ - \theta}{2}\right) \quad (18)$$

$$F_{bw,bn} = \sqrt{2} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) - 1 \quad (19)$$

式中: $Q_{c,wb}$, $Q_{c,wn}$, $Q_{c,bn}$ 分别为外侧玻璃与百叶,外侧与内侧玻璃,百叶与内侧玻璃的长波辐射换热,J; σ 为玻尔兹曼常数; T_b , T_{bn} , T_{bw} 分别为百叶、内侧玻璃、外侧玻璃的温度,K; $\epsilon_{a,b}$ 为 a 与 b 界面间的长波辐射换热系数; ϵ_a , ϵ_b 分别为 a,b 界面的发射率; $F_{bw,bn}$, $F_{b,bn}$, $F_{b,bw}$ 分别为外侧与内侧玻璃,百叶与内侧玻璃,百叶与外侧玻璃可视系数^[11].

遮阳百叶热平衡方程为:

$$Q_{b,x}(\theta) = \alpha_b(\theta)Q_{b,b} + Q_{c,wb}(\theta) \quad (20)$$

$$Q_{b,x}(\theta) = Q_{b,w} + Q_{b,n} + Q_{c,bn}(\theta) \quad (21)$$

式中: $Q_{b,x}(\theta)$, $Q_{b,w}$, $Q_{b,n}$, $Q_{b,b}$ 分别为百叶吸收辐射热,百叶与外空腔对流传热量,百叶与内空腔对流传热量和透过 DSF 外侧玻璃的太阳辐射量,J; $\alpha_b(\theta)$ 为遮阳百叶太阳辐射吸收率.

百叶与内外空腔的对流换热系数近似相等^[9],百叶与内外空腔的对流换热量之比近似等于温差之比.

$$\frac{Q_{b,w}}{Q_{b,n}} = \frac{T_b - T_w}{T_b - T_n} \quad (22)$$

式中: T_b , T_w , T_n 分别为遮阳百叶、外空腔及内空腔的温度,K.

由式(21)(22)得,百叶与内空腔的对流换热量为:

$$Q_{b,n} = (Q_{b,x}(\theta) - Q_{c,bn}(\theta)) \times \frac{T_b - T_n}{(T_b - T_n) + (T_b - T_w)} \quad (23)$$

内空腔热平衡方程为:

$$Q_{b,n}(\theta) + xmT_i - cmT_c - Q_{n,bl}(\theta) = 0 \quad (24)$$

内侧玻璃热平衡方程为:

$$Q_{n,n}(\theta) = Q_{n,bl}(\theta) + Q_{c,bn}(\theta) + Q_{c,wn}(\theta) + Q_x(\theta) \quad (25)$$

式中: m 为进出内空腔的空气流量,kg/s; $Q_{n,bl}(\theta)$, $Q_{n,n}(\theta)$, $Q_x(\theta)$ 分别为内空腔与内侧玻璃对流传热量,内侧玻璃与室内换热量和内侧玻璃吸收的太阳

辐射热, J ; T_i, T_c 分别为内空腔进出口空气温度, K .

设 $\beta = \frac{T_b - T_n}{2T_b - T_n - T_w}$ 为传热比例系数, $\Delta T =$

$T_c - T_i$ 为内空腔进出口温差.

由式(14)~(25)可得百叶吸收辐射引起室内得热:

$$\begin{aligned} Q_{x,d}(\theta) = Q_{n,n}(\theta) = & (\alpha_b(\theta)Q_{b,b} + Q_{c,wb}(\theta) - \\ & Q_{c,bn}(\theta))\beta - cm\Delta T + Q_{c,bn}(\theta) + \\ & Q_{c,wn}(\theta) + Q_x(\theta) \end{aligned} \quad (26)$$

1.2 平均采光系数

平均采光系数^[12]是在自然采光系数基础上建立的一种新型室内自然采光评价方式.近年来,广泛应用于欧洲、北美等室内自然采光评价及照明设计中,它能够表征室内自然采光均匀性和整体采光效果.平均采光系数 ADF^[12]的确定方法如下:

$$ADF(\theta) = \frac{A\tau_{in}(\theta)\gamma}{A_1(1-\rho^2)} \quad (27)$$

式中: A, A_1 分别为 DSF 面积, 室内表面总面积, m^2 ; γ 为天空遮挡角, 在室外无遮挡物时, 为 90° ; ρ 为室内表面平均反射率.

由式(27)可看出, 确定室内平均采光系数、DSF 系统综合透射率 $\tau_{in}(\theta)$ 是关键.

1.3 模拟结果标准化

若将室内综合得热和平均采光系数作为评价指标, 存在两点不合理因素.其一, 2 个函数量纲不同, 直接相加没有评价意义.其二, 需求趋势不同, 从节能角度, 综合室内得热越少越好; 而从自然采光角度, 平均采光系数 ADF 越大越好.这种双重需求趋势导致百叶倾角评价模型无法寻优.

因此, 将模拟获得的不同倾角下的 $Q_z(\theta)$ 和 AFD (θ) 计算结果进行标准化处理, 然后再加权累加, 从而得到随百叶倾角 θ 变化的评价函数 P 的数据.评价函数 P 在倾角变化范围内的最大值, 即为最优值.

模拟计算结果标准化的目的在于将数据进行同趋势化和无量纲化处理.标准化方法^[13]如下:

$$w = \frac{f(\theta)}{\max f(\theta)} \quad (28)$$

$$w = 1 - \frac{f(\theta)}{\max f(\theta)} + \left(1 - \max\left(1 - \frac{f(\theta)}{\max f(\theta)}\right)\right) \quad (29)$$

式(28)适用于 ADF (θ) 标准化, 式(29)适用于 $Q_z(\theta)$ 标准化.经标准化处理后, 室内综合得热指标 f_z , 自然采光指标 f_c 和评价函数 P 均处于 $0\sim 1$ 之间, 且 P 的数值越大, DSF 的隔热和自然采光效果

越好.

1.4 权系数确定

权系数是影响评价结果的重要因素之一, 权系数取值不合理会使评价结果可信度降低.为增加权系数取值的可信性, 避免主观赋权法中决策者主观性过强、客观赋权法中过多地依赖实测数据的局限, 采用一种新的主客观赋权法^[13]进行权系数的确定.

主客观赋权法分为 2 部分: 主观赋权部分, 运用模糊数学原理, 采用非结构三角模糊数主观赋权法^[13]来实现评价指标相对重要性的排序; 客观赋权部分, 充分考虑数据的离散性、相关性和对比强度, 分别应用 CRITIC 法^[13]和熵值法^[13]进行权重的确定, 并加以融合.将主观赋权法和客观赋权法确定的权重应用最小二乘线性组合法^[13]进行融合, 以得到最终的权重.

2 算例与分析

当模型的输入值为逐时参数时, 模型输出为逐时最优倾角, 可以指导百叶倾角自动控制; 当输入为综合值时, 输出为综合最优值, 可以确定最优固定倾角.在该算例中, 为增加计算结果可应用性, 输入参数为长沙夏季晴天、阴天综合参数, 得到长沙夏季晴天及阴天 DSF 百叶最优固定倾角及范围.

因为双层皮幕墙多用于办公及商业建筑中, 在工作时间内, 考虑 DSF 的节能、采光特性才有意义.因此, 算例模型建立在 8:00—18:00 这一时间段内.自然通风是 DSF 的主要运行方式, 因此实例是应用自然通风工况下的数据进行分析的.

2.1 实验平台

本课题组于 2014 年 7 月至 9 月应用图 2 所示的实验平台进行实验数据测量.实验平台的结构参数为: 房间尺寸为 $2.00\text{ m} \times 2.00\text{ m} \times 2.50\text{ m}$, 双层皮幕墙朝向为南向, 幕墙结构从外到内分别为: 双层中空钢化玻璃 $5\text{ mm} + 9\text{ mm} + 5\text{ mm}$ 、遮阳百叶、钢化玻璃 8 mm .热通道宽度 40 cm .百叶叶片与水平方向的夹角为百叶倾角, 其调节范围为 $0^\circ \sim 90^\circ$.

2.2 实验方法

2.2.1 实验器材

倾角评价模型主要输入参数包括: 气象数据(如: 太阳辐射、室外空气温度等)和热工参数等.故实验仪器主要包括: 太阳辐射总表、太阳散射辐射表和铂电阻温度传感器.数据采集由 Agilent34980



图2 实验平台

Fig.2 Experimental platform

全自动记录仪完成,数据采集时间间隔为 10 min.

2.2.2 实验测点布置

图3所示为铂电阻温度传感器布置位置.在双层皮幕墙各层玻璃、遮阳百叶和内外热通道均如图布置5个温度测点,以获得双层皮幕墙的热工参数.

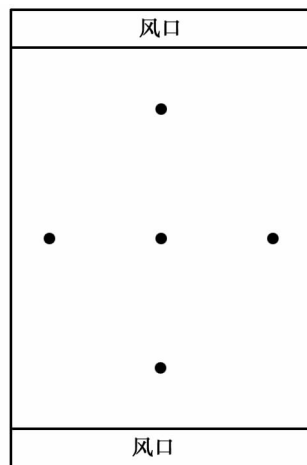


图3 温度测点分布

Fig.3 Distribution of temperature measuring points

2.3 长沙夏季典型日参数的确定

2.3.1 典型日气象参数

$Q_e(\theta)$ 和 $ADF(\theta)$ 的确定均需要气象数据(如:太阳辐射、室外空气温度等)作为支撑.应用平均化处理方法,将实验测得的以 10 min 为时间间隔的长沙夏季 17 d 晴天和 15 d 阴天气象数据进行处理,得到长沙夏季晴天、阴天实时太阳辐射和室外温度数据.

2.3.2 典型日 DSF 热工性能参数

在进行长波辐射计算时,需要 DSF 外侧玻璃、百叶和内侧玻璃温度等热工参数作为输入数据.由于受到实验条件和实验时间限制,无法详细测得典型日不同倾角下 DSF 热工参数.为保证热工数据具有代表性,将实验测得的不同百叶倾角对应的 DSF 热工性能数据进行平均处理,得到典型日 8:00—18:00 时间段内以 10 min 为时间间隔的 DSF 热工

数据.

2.4 典型日透过 DSF 辐射热量

根据 1.1.1 方法,计算得到长沙夏季晴天、阴天典型日不同百叶倾角对应的透过 DSF 辐射热量,如图 4 所示.

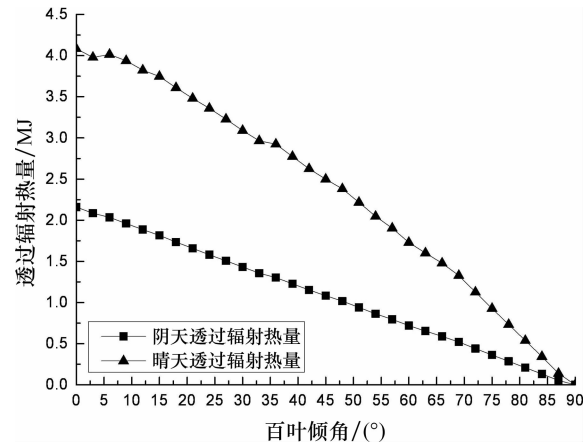


图4 晴天及阴天典型日透过 DSF 的辐射热量

Fig.4 The transmitted radiant of DSF in sunny and cloudy days

2.5 典型日百叶吸收辐射引起的室内得热

2.5.1 典型日百叶吸收辐射热量

百叶吸收辐射热量中太阳辐射吸收部分是根据射线追踪法,在综合分析百叶辐射吸收率与百叶倾角关系的基础上确定;长波辐射吸收部分应用 1.1.2 介绍方法确定.图 5 所示为长沙夏季晴天及阴天典型日不同百叶倾角对应的 DSF 遮阳百叶吸收辐射热量.

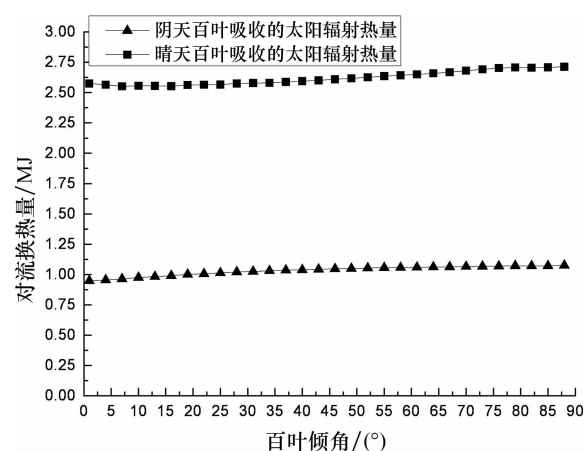


图5 晴天及阴天百叶吸收太阳辐射热量

Fig.5 Absorbed solar radiation of blinds in sunny and cloudy days

2.5.2 传热比例系数

由 1.1.2 可知,传热比例系数 β 表示百叶与内腔温差和百叶与内外空腔温差之和的比,根据实验

数据分析确定.对同一百叶倾角,不同时间有不同的传热比例系数 β_i ; 即使 β_i 相同,在不同时间因百叶吸收辐射差异,也会导致不同换热效果.因此,同一百叶倾角 8:00—18:00 的综合传热比例系数 $\beta(\theta)$, 按式(30)确定.

$$\beta(\theta) = \sum \beta_i p_i \quad (30)$$

式中: p_i 表示同一百叶倾角不同时间的权系数, 根据不同时刻百叶吸收辐射热量的比例来确定.

晴天和阴天典型日传热比例系数见表 1 和表 2. 表 3 表示晴天及阴天不同百叶倾角下的综合传热比例系数 $\beta(\theta)$. 由于实验条件限制, 仅给出百叶倾角为 $30^\circ, 45^\circ$ 和 60° 所对应的 $\beta(\theta)$. 观察综合传热比例系数特点, 发现随百叶倾角变化其值无明显变化规律. 因此将晴天及阴天综合传热比例系数视为定值. 采用算术平均算法得到晴天典型日综合传热比例系数 $\beta=0.838$, 阴天典型日 $\beta=0.790$.

表 1 晴天典型日传热比例系数

Tab.1 The statistics in typical sunny days

倾角	传热比例系数									
/($^\circ$)	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
30°	0.032	0.064	0.114	0.159	0.156	0.146	0.099	0.056	0.030	0.013
45°	0.036	0.067	0.102	0.151	0.148	0.142	0.099	0.060	0.029	0.012
60°	0.032	0.061	0.095	0.132	0.145	0.133	0.102	0.061	0.027	0.010

表 2 阴天典型日传热比例系数

Tab.2 The statistics in typical cloudy days

倾角	传热比例系数									
/($^\circ$)	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
30°	0.039	0.056	0.092	0.112	0.104	0.100	0.100	0.072	0.051	0.023
45°	0.050	0.070	0.097	0.116	0.107	0.114	0.108	0.086	0.051	0.028
60°	0.049	0.068	0.092	0.107	0.102	0.112	0.104	0.085	0.051	0.027

表 3 晴天及阴天典型日综合传热比例系数

Tab.3 The comprehensive heat transfer coefficient in typical sunny and cloudy days

倾角/ $^\circ$	晴天传热比例系数	阴天传热比例系数
30	0.870	0.749
45	0.846	0.826
60	0.797	0.796

2.5.3 内空腔进出流量

在不考虑百叶倾角对自然通风影响及内外空腔空气横向流动的前提下, 假设内空腔同一计算时刻温度(取平均温度)相同, 此时中和面位于热通道中央. 内空腔自然通风量^[14]由下式确定:

$$P_1 = (\rho_w - \rho_i) g \frac{h - 2L}{2} \quad (31)$$

$$m_i = \rho_w A_1 \sqrt{\frac{|2P_1|}{\rho_w}} \quad (32)$$

式中: P_1 为内空腔进口处相对压强, Pa; ρ_w, ρ_i 分别为室外空气密度和内空腔空气逐时密度, kg/m^3 ; h 为幕墙高度, m; L 为幕墙进出口高度, m; A_1 为内空腔横向面积, m^2 ; m_i 为各计算时刻内空腔流量, kg/s .

典型日内空腔流量见表 4.

表 4 晴天及阴天典型日内空腔流量表

Tab.4 The flow in internal cavity of sunny and cloudy days

天气	空腔流量/ $(\text{kg} \cdot \text{s}^{-1})$									
	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
晴天	0.121	0.165	0.160	0.148	0.131	0.138	0.131	0.127	0.091	0.033
阴天	0.072	0.082	0.102	0.075	0.087	0.093	0.034	0.036	0.039	0.013

2.5.4 内空腔进出口温差

通过实验数据分析得到内空腔进出口温差见表 5.

表 5 晴天及阴天典型日内空腔进出口温差

Tab.5 The temperature difference between the inlet and outlet of the inner cavity in sunny and cloudy days

天气	内空腔进出口温差/ $^\circ\text{C}$									
	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
晴天	-0.588	-0.802	-0.911	-1.241	-1.386	-1.642	-1.647	-1.685	-1.662	-1.622
阴天	-0.149	-0.377	-0.561	-0.709	-0.688	-0.726	-0.663	-0.700	-0.575	-0.554

根据实验数据可知, 自然通风工况下, 典型日该 DSF 内空腔空气温度均小于室外空气温度, 内空腔空气向下流动. 由表 4 可得, 无论是晴天还是阴天, 进出口温差 $\Delta T = T_c - T_j$ 均小于 0, 导致通过内空腔空气流动带走的热量 $cm\Delta T$ 小于 0, 即: 内空腔空气流动不仅不会带走热量, 反而带入热量增加室内得热. 因此, 自然通风工况下, 该 DSF 内空腔从遮阳百叶吸收的热量全部被内层玻璃吸收.

2.5.5 百叶吸收辐射引起的室内得热量

由以上分析可知, 在计算百叶吸收辐射引起室内得热时, 内空腔空气流动不能带走百叶吸收的热量. 此时, $Q_{x,d}(\theta) = \beta Q_{b,x}(\theta) + Q_{c,bn}(\theta) + Q_{c,wn}(\theta) + Q_x(\theta)$. 典型日不同百叶倾角对应 $Q_{x,d}(\theta)$ 如图 6 所示.

2.6 室内综合得热量

将 $Q_{x,d}(\theta)$ 与 $Q_i(\theta)$ 相加得到受百叶倾角影响的室内综合得热量 $Q_z(\theta)$.

如图 7 所示, 受遮阳百叶倾角影响的室内综合得热量随百叶倾角增大而减小. 晴天 $Q_z(\theta)$ 减小幅度随百叶倾角增大而增大, $65^\circ \sim 85^\circ$ 减小幅度最大; 阴天 $Q_z(\theta)$ 减小的幅度较小.

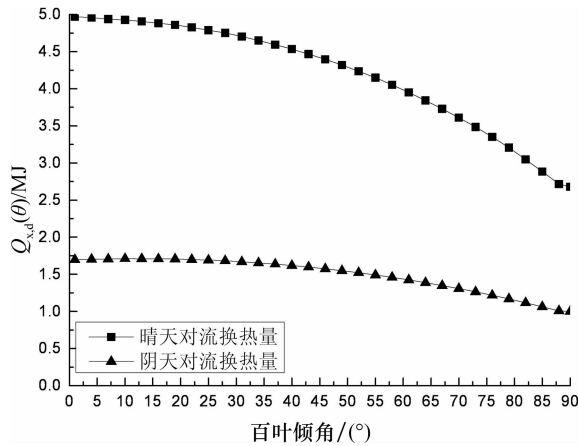


图6 晴天及阴天典型日 $Q_{x,d}(\theta)$

Fig.6 $Q_{x,d}(\theta)$ in sunny and cloudy days

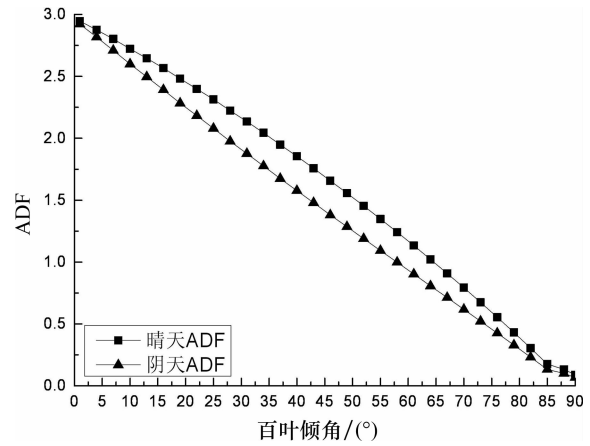


图8 晴天及阴天典型日平均采光系数

Fig.8 The ADF in sunny and cloudy days

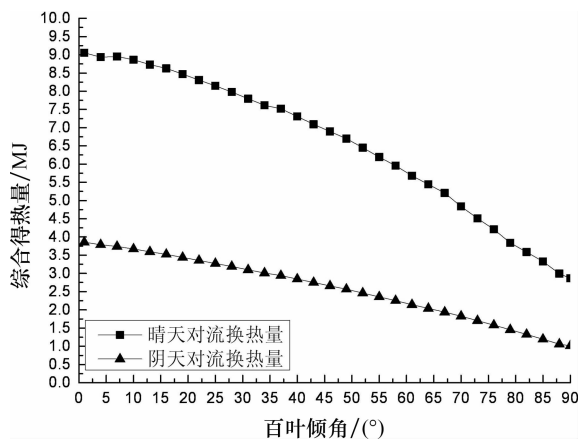


图7 综合得热量

Fig.7 Combined heat

2.7 典型日平均采光系数

英国照明标准规定:自然采光条件下,室内平均采光系数不应低于5%。如图8所示,在 $0^\circ \sim 90^\circ$,晴天和阴天平均采光系数 ADF 均小于5%,这说明百叶倾角处于 $0^\circ \sim 90^\circ$ 时,该 DSF 均无法达到自然采光要求。因此,ADF 取值越大,自然采光效果越好。

2.8 权系数确定

应用 1.3 介绍的主客观赋权法进行权系数确定。为增加权重可信性,取主观赋权法确定的中立权重与客观赋权法权重,应用最小二乘法线性组合法^[11]进行权重确定。晴天及阴天评价权系数见表 6 和表 7。

表 6 晴天评价指标权重表

Tab.6 The weight of evaluation index in sunny days

指标	非结构三角模糊主观赋权法			客观		综合权重
	悲观	中立	乐观	CRITIC	熵值法	
综合得热指标	0.730	0.625	0.558	0.423	0.455	0.606
自然采光指标	0.432	0.375	0.302	0.577	0.545	0.394

表 7 阴天评价指标权重表

Tab.7 The weight of evaluation index in cloudy days

指标	非结构三角模糊主观赋权法			客观		综合权重
	悲观	中立	乐观	CRITIC	熵值法	
综合得热指标	0.621	0.525	0.465	0.361	0.437	0.512
自然采光指标	0.541	0.475	0.395	0.639	0.663	0.488

2.9 长沙 DSF 百叶倾角评价模型

根据式(1)得到长沙夏季晴天、阴天不同百叶倾角下的 P 值数据。如图 9 所示。

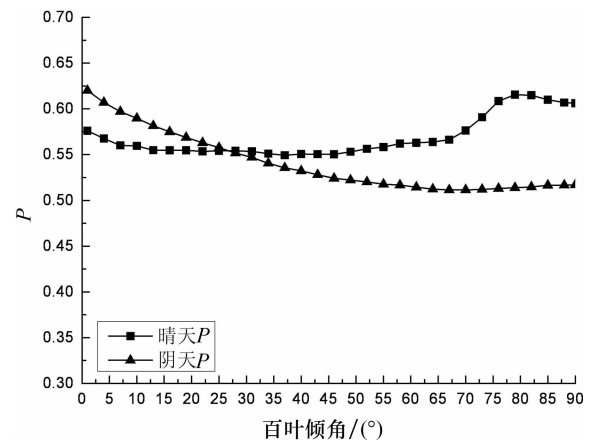


图9 晴天及阴天倾角评价函数 P 趋势图

Fig.9 The trend of the evaluation function of the sunny and cloudy days

如图 9 所示,长沙夏季晴天该 DSF 遮阳百叶最佳固定倾角为 82° ,在 $73^\circ \sim 90^\circ$ 时,评价函数 P 值较

大,所以,推荐 $73^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 为晴天的最佳倾角范围;阴天最佳固定倾角为 0° ,在 $0^{\circ}\sim 36^{\circ}$ 时 P 值较大,因此,推荐 $0^{\circ}\sim 36^{\circ}$ 为阴天最佳倾角范围。

晴天该南向DSF百叶最佳固定倾角较大,是因为晴天综合得热指标所占权重较大,评价模型变化趋势与经过标准化处理后室内综合得热指标变化趋势近似相同。且该DSF内侧为单层玻璃,对流换热系数较大,导致内侧玻璃温度较低,百叶不仅需要阻挡太阳直射辐射,还要阻挡外侧与内侧玻璃之间的长波辐射,因此,最佳固定倾角要大一些。

阴天最佳固定倾角较小,为 0° 。这主要是因为阴天室内综合得热指标随百叶倾角的变化波动较小,且阴天自然采光指标和室内得热指标权重接近,使评价模型变化趋势受自然采光指标影响较大。在阴天,直射辐射很少而散射辐射透入有利于改善室内自然采光效果,因此,阴天百叶倾角应小一些。

3 结论

本文在综合考虑百叶倾角对透过辐射、长波辐射及对流换热影响基础上,建立了室内综合得热模型;在考虑百叶倾角对室内自然采光均匀性影响的基础上,建立了平均采光系数模型;应用主客观综合赋权方法确定了评价指标的权重;应用线性加权求和方法,建立了DSF百叶倾角评价模型。

以长沙某南向DSF为例,介绍了DSF百叶倾角评价模型的构建过程,得到了晴天DSF遮阳百叶最佳固定倾角为 82° ,最佳倾角范围为 $73^{\circ}\sim 90^{\circ}$;阴天最佳固定倾角为 0° ,最佳倾角范围为 $0^{\circ}\sim 36^{\circ}$ 。

本文在综合考虑DSF遮阳百叶对室内光热环境影响的基础上,建立了DSF系统遮阳百叶倾角评价模型,旨在更好地实现DSF系统遮阳百叶的动态控制,以达到光舒适性和节能性的合理统一。

参考文献

- [1] 陈友明,高丽慧,王衍金,等.夏热冬冷地区VDSF自然通风实验研究与优化[J].湖南大学学报:自然科学版,2010,37(5):120-125.
CHEN Youming, GAO Lihui, WANG Yanjin, et al. Experimental research and optimization of natural ventilation for VDSF in zones hot in summer and cold in winter[J]. Journal of Hunan University: Natural Sciences, 2010, 37(5): 120-125. (In Chinese)
- [2] BESSOUDO M, TZEMPELIKOS A, ATHIENITIS A K, et al. Indoor thermal environmental conditions near glazed facades with shading devices—Part I: experiments and building thermal model[J]. Building and Environment, 2010, 45(11): 2506-2516.
- [3] 程义华,撒世忠,周亚素,等.带遮阳百叶通道幕墙的热工数学模型[J].建筑热能通风空调,2006,25(4):10-17.
CHENG Yihua, SA Shizhong, ZHOU Yasu, et al. A mathematical model of thermal channel glazing curtain wall[J]. Building Energy & Environment, 2006, 25(4): 10-17. (In Chinese)
- [4] 李峥嵘,陶求华,蒋福建,等.建筑外百叶最佳固定倾角与动态百叶节能潜力[J].西安建筑科技大学学报,2012,44(6):767-772.
LI Zhengrong, TAO Qiuhua, JIANG Fujian, et al. Optimum fixed angle of construction and dynamic shutters for optimum fixed angle[J]. Journal of Xi'an University of Architecture and Technology, 2012, 44(6): 767-772. (In Chinese)
- [5] 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.
- [6] 余理论,郑洁,田智华.百叶遮阳对室内光环境的影响[J].建筑热能通风空调,2010,29(1):56-69.
YU Lilun, ZHENG Jie, TIAN Zhihua. Effect of shading on indoor light environment[J]. Building Energy & Environment, 2010, 29(1): 56-69. (In Chinese)
- [7] 周颖,金凤云,杨华,等.双层玻璃幕墙设计参数对室内光环境影响的模拟研究[J].河北工业大学学报,2015,44(6):52-57.
ZHOU Ying, JIN Fengyun, YANG Hua, et al. Study on the impact of double-skin facade's design parameters on indoor daylight environment[J]. Journal of Hebei University of Technology, 2015, 44(6): 52-57. (In Chinese)
- [8] 郭亚军.综合评价理论、方法及应用[M].北京:科学出版社,2007:122-125.
GUO Yajun. Comprehensive evaluation theory, method and application [M]. Beijing: Science Press, 2007: 122-125. (In Chinese)
- [9] 毕源,陈友明,周娟,等.夏热冬冷地区VDSF热工性能评估模型[J].太阳能学报,2015,36(7):1724-1730.
BI Yuan, CHEN Youming, ZHOU Juan, et al. Thermal performance evaluation model for VDSF in hot summer and cold winter zone[J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2015, 36(7): 1724-1730. (In Chinese)
- [10] 周娟.建筑围护结构动态传热模拟方法的研究[D].长沙:湖南大学土木工程学院,2012:82-96.
ZHOU Juan. Simulation methods research on transient heat transfer through building envelope[D]. Changsha: College of Civil Engineering, Hunan University, 2012: 82-96. (In Chinese)
- [11] JIRU T E, HAGHIGHAT F. Modeling ventilated double skin façade—a zonal approach[J]. Energy and Buildings, 2008, 40(8): 1567-1276.
- [12] REINHART C F, LOVERSO V B M. A rules of thumb-based design sequence for diffuse daylight[J]. Lighting Research and Technology, 2010, 42(1): 7-31.
- [13] 宋冬梅,刘春晓,沈晨,等.基于主客观赋权法的多目标多属性决策方法[J].山东大学学报:工学版,2015,45(4):1-9.
SONG Dongmei, LIU Chunxiao, SHEN Chen, et al. View based on the subjective and objective weighting method of multiobjective multi attribute decision making method[J]. Journal of Shandong University: Engineering Science, 2015, 45(4): 1-9. (In Chinese)
- [14] 邹超,王洋浩,吴小舟,等.层式通风房间垂直温度分布预测方法[J].湖南大学学报:自然科学版,2010,37(5):135-140.
XUN Chao, WANG Fenghao, WU Xiaozhou, et al. Vertical temperature distribution prediction method for floor ventilation room[J]. Journal of Hunan University: Natural Sciences, 2010, 37(5): 135-140. (In Chinese)