

夏热冬冷地区太阳辐射对建筑围护结构能耗影响分析*

罗松钦^{1,2†}, 杨昌智¹, 李洪强¹, 毛颖杰³

(1. 湖南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410082; 2. 长沙理工大学 建筑学院, 湖南 长沙 410076;

3. 湖南大学设计研究院有限公司, 湖南 长沙 410082)

摘要:为解决夏热冬冷地区建筑热工设计时,建筑物夏季要“挡”太阳辐射、冬季要“用”太阳辐射这一看似矛盾的问题,采用理论推导与模拟计算及实验验证的方法,以夏热冬冷气候区内典型建筑为研究对象,分析围护结构(墙体与屋顶)在不同设计参数时,其内外表面温度变化及建筑冷热负荷需求特性。研究表明:随着围护结构外表面材料太阳辐射吸收系数由0.9减小到0.3,围护结构外表面温度明显降低,其中外表面最高温度最大降幅20.2℃(屋顶),平均温度最大降幅6.9℃(屋顶),而内表面温度降幅不大;降低太阳辐射吸收系数,可以明显降低建筑夏季冷负荷需求,对冬季热负荷影响甚微;增大围护结构(墙体与屋顶)热阻能够降低建筑冬季热负荷需求,并且热阻与节能量近似呈线性关系,但其对降低夏季冷负荷的效果不如降低冬季热负荷明显,并且有“反节能”风险。该研究可为夏热冬冷气候区建筑围护结构的优化设计,解决夏季隔热及全年综合降低空调能耗问题提供参考。

关键词:太阳辐射;建筑遮阳;建筑隔热;建筑围护结构;夏热冬冷

中图分类号:TU111

文献标志码:A

Analysis on Influence of Solar Radiation on Building Envelope Energy Consumption in Hot Summer and Cold Winter Zone

LUO Songqin^{1,2†}, YANG Changzhi¹, LI Hongqiang¹, MAO Yingjie³

(1. College of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China;

2. College of Architecture, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410076, China;

3. Hunan University Design Institute Co Ltd, Changsha 410082, China)

Abstract: The contradictory problem that “blocking” the solar radiation in summer and “receiving” the solar radiation in winter for buildings thermal design should be considered in hot summer and cold winter zone in China. In this paper, the typical building in hot summer and cold winter zone was analyzed by theoretical deduction, simulation calculation and experiment validation in order to obtain the effect of different envelope design parameters on internal and external surface temperature changes and heat/cold load demand. The results show that when the solar radiation absorption coefficient decreases from 0.9 to 0.3, the external surface temperatures of envelopes are reduced significantly, and the largest declines of the maximum temperature and the average temperature are 20.2 degrees and 6.9 degrees (roofs), respectively, but there is no change of the internal surface temperatures. By reducing the solar radiation absorption coefficient, building cooling load demand in summer can be decreased significantly, and nearly no effect on heat-

* 收稿日期:2017-05-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51541603), National Natural Science Foundation of China(51541603);湖南省自然科学基金资助项目(2016JJ2021), Natural Science Foundation of Hunan Province of China (2016JJ2021)

作者简介:罗松钦(1977-),男,河南临颖人,湖南大学博士研究生,长沙理工大学讲师

† 通讯联系人, E-mail:308714221@qq.com

ing load in winter. The building heating load in winter can be reduced by increasing the thermal resistance of walls and roofs, and the thermal resistance and energy savings are approximately linear, but the effect of the thermal resistance on the building cooling load is less than building heating load, and there are “anti-saving” risks. This study is valuable, and will be helpful to design building envelopes and heat insulation so as to realize energy consumption reduction of the air conditioning in the whole year in hot summer and cold winter zone.

Key words: solar radiation; building shading; building thermal protection; building envelope; hot summer and cold winter

夏热冬冷地区建筑热工设计的原则是:必须满足夏季防热要求,适当兼顾冬季保温^[1].可见在夏热冬冷地区防热“重于”保温.然而,由于夏热冬冷地区的建筑节能设计很大程度上借鉴了北方采暖地区的现有技术体系^[2],再加上相关规范的影响,该地区建筑设计在实践中重保温、轻防热,导致外围护结构保温材料越来越厚,窗户选型标准越来越高.如最新版本《公共建筑节能设计标准》(GB 50189—2015)对夏热冬冷地区外围护结构的综合传热系数 K 值、热惰性指标 D 值及窗户太阳得热系数 SHGC 值做出了明确规定,且高于旧节能规范规定值^[3].调查显示,新版《公共建筑节能设计标准》(GB 50189—2015)实施前后,湖南地区公共建筑屋顶保温层厚度平均增加 40% 以上,外墙保温层厚度平均增加 30% 以上,外窗选型普遍由普通型材窗框低辐射中空玻璃转为隔热型材窗框低辐射中空玻璃.这些转变固然对降低建筑冬季能耗有利,但风险也在增加:1)成本增加,保温材料性价比降低^[4-5].2)施工难度加大,保温材料易脱落、开裂,因此墙体大多采用内保温系统,占用室内使用面积,影响室内二次装修.3)保温材料过厚,夏季“反节能”^[6-7]风险增加,不利于节能及防热.

《民用建筑热工设计规范》(GB 50176—2016)明确指出:屋顶及墙体在围护结构隔热设计时宜采用浅色外饰面^[1].《2017 中国建筑节能年度发展研究报告》指出:夏热冬冷地区对围护结构热工性能重要性的要求是“遮阳>通风>保温>气密”^[8].遮阳及采用浅色饰面的最终目的均是减少建筑对太阳辐射的吸收,太阳辐射是建筑得热的主要途径之一,减少建筑外表面对太阳辐射热的吸收是避免室内过热,降低夏季空调能耗的重要途径.然而现行的建筑节能设计标准中对于建筑物非透光围护结构遮阳及外表面粉热工性能指标却无明确要求,致使建筑设计实践中对此重视不足,不利于建筑节能工作的准确

开展.

目前夏热冬冷地区有关遮阳的研究多集中在透光围护结构,如楚洪亮等^[9]研究了上海某建筑南向窗外窗采用不同类型遮阳设施的节能效果,彭小云等^[10]通过搭建建筑遮阳实验台,对建筑遮阳效果进行了实际测量.其研究结果均表明:对透光围护结构进行遮阳能够有效地防止太阳辐射,降低能耗.陈友明等^[11]研究了双层皮幕墙内置遮阳百叶倾角,得出了长沙地区 DSF 遮阳百叶最佳倾角及范围.对非透光围护结构的研究多集中在隔热反射涂料的效果与性能,如郭卫琳等^[12]研究了热反射隔热涂料对墙体的节能实效,结果表明有隔热涂料的外墙面与无隔热涂料的墙面相比最大降温幅度可达 9~10 °C,能有效减少东、南、西三面墙体导热热量,降温效果极为显著.许锦峰等^[13]对隔热涂料对墙体温度的影响进行实测,得出了类似的结论.付衡等^[14]研究得出:不同构造的外墙采取遮阳措施,减小外表面太阳辐射吸收系数对降低外墙内表面温度及降低空调能耗有不同程度的影响.李英等^[15]研究了北京地区墙体表面特性对空调能耗的影响,发现太阳辐射热的吸收系数越大越有利于减少采暖能耗,但会增大空调能耗,表面黑度增加有利于减少采暖和空调能耗.在北京地区选用太阳辐射热吸收系数大和黑度大的表面材料有利于建筑节能.于靖华等^[16]考虑太阳辐射因素,从经济性角度研究了不同外表面颜色墙体保温的最佳厚度,表明不同朝向的外墙,其保温材料宜采用不同厚度;外表面为深色的东北向外墙采用最佳厚度保温层带来的寿命周期收益最大,浅色的南墙最小.

针对夏热冬冷地区太阳辐射,夏季要“挡”、冬季要“用”的问题,如何判定建筑围护结构设计的优劣尤为重要.对于空调建筑,可从建筑能耗指标进行判定;对于非空调建筑,需从室内热环境进行分析,并可以通过围护结构内表面温度间接反映室内热环境

状况。

本文主要采用理论推导和模拟计算方法,以夏热冬冷气候区内典型建筑为研究对象,研究了太阳辐射对围护结构能耗及室内热环境的影响,并通过实验验证了屋顶及墙体遮阳效果,可为夏热冬冷地区建筑热环境的设计提供参考。

1 理论计算模型

依据《民用建筑热工设计规范》(GB 50176—2016)附录 C.3 的规定,隔热设计时,外墙、屋面内表面温度应采用一维非稳态方法计算,并按房间的运行工况确定相应的边界条件。建立常物性、无内热源的一维非稳态导热的内部微分方程(如式(1)所示),微分方程的求解可采用有限差分法^[17]:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \alpha \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}. \quad (1)$$

式中: $\partial t/\partial \tau$ 为温度对于时间的导数, $^{\circ}\text{C}/\text{s}$; α 为材料的热扩散系数, m^2/s ; x 为至边界距离, m 。

建立第三类边界条件隐式差分格式边界节点方程如式(2)所示:

$$-\frac{\lambda}{\Delta x}(t_1^k - t_2^k) + \alpha(t_1^k - t_2^k) + \rho I^k = C_p \rho \frac{\Delta x}{2} \cdot \frac{t_1^k - t_1^{k-1}}{\Delta \tau}. \quad (2)$$

式中: C_p 为材料的定压比热, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; ρ 为材料的密度, kg/m^3 ; Δx 为差分步长, m ; λ 为材料的导热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$; t_1^k 、 t_2^k 、 t_1^{k-1} 为各节点温度, $^{\circ}\text{C}$; $\Delta \tau$ 为时间步长, s 。

按式(3)列出各内部节点和边界点的节点方程,并求解节点方程组得到外墙、屋顶内表面温度值。

$$t_i = \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} t_j + c_i, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

式中: t_i 为差分节点温度值, $^{\circ}\text{C}$; α_{ij} 为材料的热扩散系数, m^2/s ; t_j 为节点温度值, $^{\circ}\text{C}$; c_i 为修正参数。

边界条件(第三类边界条件)按照《民用建筑热工设计规范》(GB 50176—2016)规定取值。夏季室内空调设计温度取为 26°C ,室内侧对流换热系数为 $8.7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,室外侧对流换热系数为 $19.0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。室外空气逐时温度,表面法向太阳总辐射强度,包括直射辐射和散射辐射,按照《民用建筑热工设计规范》(GB 50176—2016)提供的气象数据取用,外表面太阳辐射吸收系数根据具体工程构造取值。本文进行隔热计算时采用的斯维尔节能软件即采用该理论计算模型。

2 模拟分析建筑模型

本文建立了两个模型建筑,均位于长沙地区。模型 A 为假想建筑,其长宽高均为 3 m ,无门窗无内热源,以便更直观地对比分析建筑各向墙体及屋顶受太阳辐射的影响。通过斯维尔软件模拟,计算了各朝向墙体及屋顶在不同外表面太阳辐射吸收系数下,其内外表面温度及冷热负荷指标的变化。

模型 B 为 1 栋 6 层实际公共建筑,建筑面积为 5819 m^2 ,建筑高度 24.6 m ,模拟计算时无内热源。建筑计算模型如图 1 所示,通过模拟,计算了各朝向墙体在不同外表面太阳辐射吸收系数及传热系数下,其冷热负荷指标的变化



图 1 公共建筑计算模型图

Fig. 1 The calculation model diagram of a public building

根据长沙地区气候特征,将夏季空调制冷时段定为 6 月 15 日至 9 月 15 日,冬季供暖时段定为 11 月 15 日至第二年 2 月 15 日。夏季空调房间设计温度 26°C ,冬季空调房间设计温度 18°C ,不考虑新风负荷。室外计算参数采用长沙地区典型日气象参数^[18],见表 1。

表 1 室外计算参数

Tab. 1 Outdoor calculation parameter					
大气透明度等级	夏季室外计算日平均温度/ $^{\circ}\text{C}$	夏季室外计算干球温度/ $^{\circ}\text{C}$	室外计算日较差/ $^{\circ}\text{C}$	夏季空调节室外计算湿球温度/ $^{\circ}\text{C}$	夏季大气压力/ Pa
4	31.6	35.8	8.1	27.7	99 920

3 模拟计算结果及分析

3.1 不同太阳辐射吸收系数对屋顶及墙体内外表面温度的影响

为分析太阳辐射对建筑屋顶及外墙内外表面温度的影响,由模型建筑 A 计算了太阳辐射吸收系数 ρ_s 分别为 0.3 (浅色)、 0.6 (中间色)、 0.9 (深色)时,屋

顶及外墙各内外表面的温度值. 其中屋顶传热系数 $K=0.9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 热惰性指标 $D=3.0$; 外墙传热系数 $K=1.0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 热惰性指标 $D=2.5$. 计算结果如图 2、图 3 及表 2 所示.

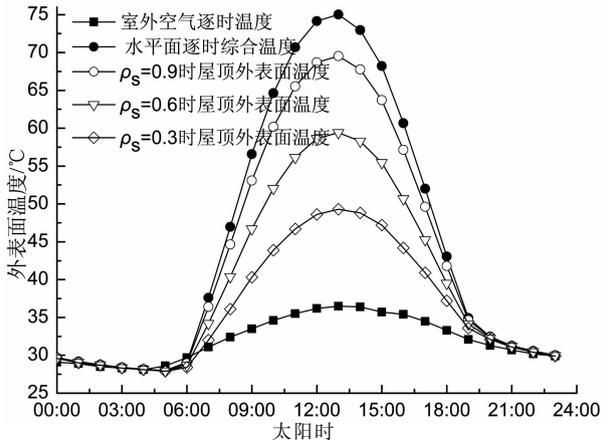


图 2 不同太阳辐射吸收系数时屋顶外表面温度

Fig. 2 The external surface temperature of the roof in different solar radiation absorption coefficients

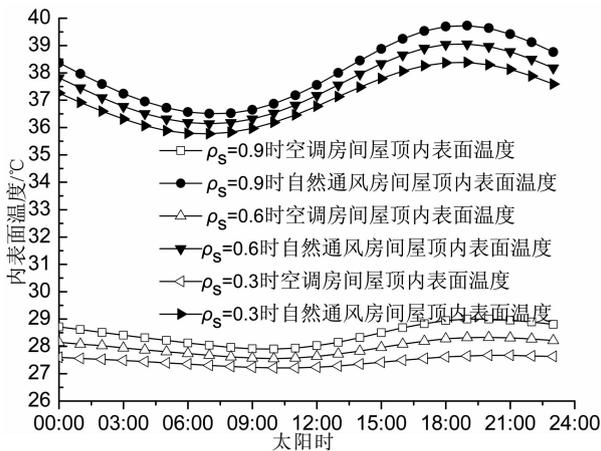


图 3 不同太阳辐射吸收系数时屋顶内表面温度

Fig. 3 The internal surface temperature of the roof in different solar radiation absorption coefficients

从结果可看出: 1) 随太阳辐射吸收系数由 0.9 到 0.3, 空调房间屋顶及各向外墙外表面温度均有明显下降, 其中外表面最高温度最大降幅 $20.2 \text{ }^\circ\text{C}$ (屋顶), 最小降幅 $5.0 \text{ }^\circ\text{C}$ (北墙), 外表面平均温度最大降幅 $6.9 \text{ }^\circ\text{C}$ (屋顶), 最小降幅 $2.5 \text{ }^\circ\text{C}$ (北墙). 2) 无论空调房间还是自然通风房间, 随太阳辐射吸收系数改变, 屋顶及墙体内表面温度变化较小, 其最高温度降幅为 $0.3 \sim 1.3 \text{ }^\circ\text{C}$, 其平均温度降幅为 $0.2 \sim 1.0 \text{ }^\circ\text{C}$. 分析其中原因, 内表面温度受室内气温影响较大, 外表面太阳辐射吸收系数改变对屋顶及墙体内表面温度影响不明显. 3) 空调房间内表面温度变化幅度略大于自然通风房间, 说明太阳辐射对空调

房间影响较大. 太阳辐射吸收系数越小, 空调房间内表面温度波动越小且越接近室内空气温度, 有利于保障室内空气温稳定及减小冷负荷.

表 2 屋顶及各向外墙在不同太阳辐射吸收系数时的温度值

Tab. 2 The temperature of the roof and external wall in different solar radiation absorption coefficients

太阳辐射吸收系数	空调房间外表面最高温度/ $^\circ\text{C}$				
	屋顶	东墙	南墙	西墙	北墙
0.3	49.3	39.9	38.1	43.6	37.1
0.6	59.4	46.8	41.4	50.4	39.3
0.9	69.5	53.8	45.3	57.0	42.1
太阳辐射吸收系数	空调房间外表面平均温度/ $^\circ\text{C}$				
	屋顶	东墙	南墙	西墙	北墙
0.3	36.4	33.3	32.1	32.9	32.1
0.6	39.8	35.7	33.5	35.3	33.4
0.9	43.3	38.2	34.7	38.0	34.6
太阳辐射吸收系数	空调房间内表面最高温度/ $^\circ\text{C}$				
	屋顶	东墙	南墙	西墙	北墙
0.3	27.7	27.5	27.5	27.7	27.4
0.6	28.3	27.8	27.8	28.2	27.6
0.9	28.2	28.7	28.2	27.8	27.8
太阳辐射吸收系数	自然通风房间内表面最高温度/ $^\circ\text{C}$				
	屋顶	东墙	南墙	西墙	北墙
0.3	38.4	39.0	39.0	39.0	38.9
0.6	39.1	39.4	39.3	39.4	39.0
0.9	39.7	39.7	39.8	39.7	39.2
太阳辐射吸收系数	自然通风房间内表面平均温度/ $^\circ\text{C}$				
	屋顶	东墙	南墙	西墙	北墙
0.3	37.1	36.8	36.8	36.9	36.7
0.6	37.6	37.0	37.0	37.2	36.8
0.9	38.0	37.3	37.3	37.5	36.9

3.2 不同太阳辐射吸收系数时屋顶及外墙隔热设计

《民用建筑热工设计规范》(GB 50176—2016) 对夏热冬冷地区屋顶及外墙隔热检查提出了具体要求: 在给定两侧空气温度及变化规律的情况下, 屋顶及外墙内表面最高温度应符合相应数值要求^[1], 该数值由建筑所处地理位置以及是否为空调房间决定. 经查, 长沙地区空调房间屋顶及墙体内表面温度最高限值分别为 $28.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 及 $28.0 \text{ }^\circ\text{C}$; 自然通风房间屋顶及墙体内表面温度最高限值为 $40.4 \text{ }^\circ\text{C}$. 围护结构隔热检查结果与围护结构传热系数及热惰性指标有关, 而与计算建筑模型无关, 本文由建筑模型 B 计算了在不同太阳辐射吸收系数下屋顶(热惰性指

标 $D=3.0$)及外墙(热惰性指标 $D=2.5$)内表面温度与传热系数之间的关系,以提供满足隔热检查的参考数据,计算结果如图 4、图 5 及表 3 所示。

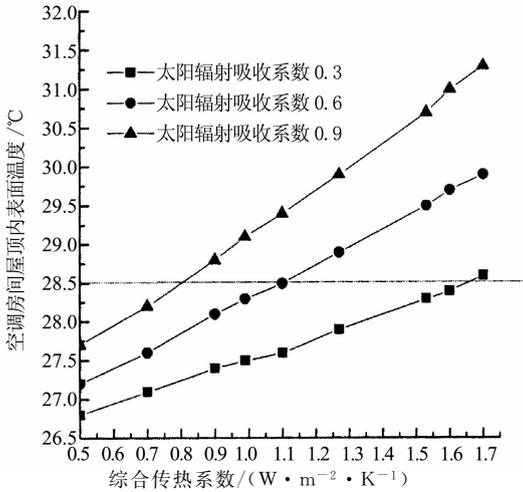


图 4 空调房间屋顶内表面温度随传热系数变化

Fig. 4 The internal surface temperature variation of the roof with heat transfer coefficients in air conditioning room

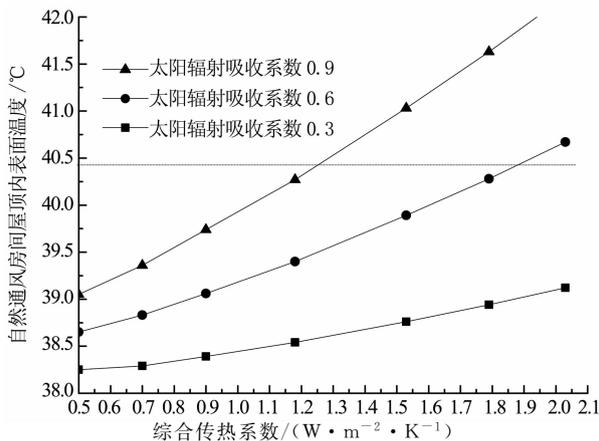


图 5 自然通风房间屋顶内表面温度随传热系数变化

Fig. 5 The internal surface temperature variation of the roof with heat transfer coefficients in natural ventilation room

表 3 墙体内部表面温度达限值时对应的传热系数
Tab. 3 The heat transfer coefficient with the surface temperature of the external wall being up to limit

ρ_s	墙体内部表面温度达限值时对应的传热系数 $K/(W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1})$			
	东墙	西墙	南墙	北墙
0.3	1.29	1.16	1.28	1.38
0.6	1.06	0.93	1.05	1.24
0.9	0.93	0.74	0.93	1.09
	1.50	1.24	1.42	2.20

注: ρ_s 为太阳辐射吸收系数, 外墙热惰性指标 $D=2.50$ 。表中数据上行为空调房间, 下行为自然通风房间。

从以上结果可看出: 1) 无论空调房间还是自然通风房间, 当屋顶及外墙表面材料采用较低的太阳

辐射吸收系数时, 屋顶及墙体可在较大传热系数范围内通过隔热检查。对于空调房间, 当太阳辐射吸收系数取 0.3 时, 屋顶综合传热系数须小于 $1.6 W/(m^2 \cdot K)$, 外墙综合传热系数须小于 $1.1 W/(m^2 \cdot K)$; 而当太阳辐射吸收系数为 0.9 时, 屋顶综合传热系数须降至 $0.8 W/(m^2 \cdot K)$ 以下, 外墙须降至 $0.7 W/(m^2 \cdot K)$ 以下。2) 自然通风房间隔热检查标准远低于空调房间, 当太阳辐射吸收系数不大于 0.6 时, 屋顶综合传热系数小于 $1.8 W/(m^2 \cdot K)$, 外墙综合传热系数小于 $1.5 W/(m^2 \cdot K)$ 即可通过隔热检查。

3.3 不同太阳辐射吸收系数时空调冷热负荷指标

为定量分析屋顶及外墙冷热负荷与太阳辐射吸收系数及传热系数之间的关系, 计算了太阳辐射吸收系数分别为 0.3(浅色)、0.6(中间色)、0.9(深色) 时及不同传热系数下围护结构的空调冷热负荷, 其结果如图 6、图 7、图 8 所示。其中图 6 为模型 A 在外墙传热系数为 $1.0 W/(m^2 \cdot K)$ 时, 不同太阳辐射吸收系数时各朝向外墙冷负荷占墙体总冷负荷的百分比。从图中可看出: 东西朝向墙体冷负荷相当, 且大于南北朝向墙体, 东西朝向墙体冷负荷比南北朝向墙体冷负荷约高 4.5%~8.7%, 南向墙体冷负荷略大于北向墙体; 随着太阳辐射吸收系数的增大, 东西向墙体冷负荷占比同步增加, 南北向墙体冷负荷占比同步减少, 由此可知, 东西朝向墙体受太阳辐射的影响要大于南北朝向墙体。

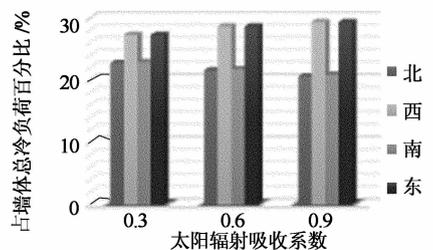


图 6 不同太阳辐射吸收系数各向墙体冷负荷占墙体总冷负荷百分比

Fig. 6 The ratio of cooling load of each wall to total cold load of all walls in different solar radiation absorption coefficients

图 7、图 8 分别为模型 A 和模型 B 墙体冷热负荷指标随太阳辐射吸收系数及传热系数的变化情况。从图中可看出: 1) 改变太阳辐射吸收系数对墙体热负荷指标影响很小, 而对冷负荷指标影响明显, 且热阻越小影响越大。太阳辐射吸收系数从 0.9 到 0.3, 模型 A 热负荷指标最大增幅 2.5%, 冷负荷指标最小降幅 56.1%; 模型 B 热负荷指标最大增幅

1.9%，冷负荷指标最小降幅2.1%，最大降幅6.9%。
 2)改变传热系数对墙体冷热负荷指标均有影响，模型A显示传热系数对冷热负荷指标的影响相当。模型B计算结果表明，传热系数对热负荷指标的影响比冷负荷指标大得多。随传热系数减小，热负荷指标减小，两者呈近线性关系，而冷负荷指标虽然也降低，但幅度比热负荷指标平缓得多，且在传热系数为0.4时，冷负荷指标明显增加，出现了“反节能”现象。尽管传热系数为0.4时出现“反节能”现象仅限于该算例，尚不能外推至其他建筑物，但说明增大热阻并不必然降低夏季冷负荷指标。相关研究也表明：“外墙外保温出现了增加全年制冷能耗的反节能现象”^[19]。文献[4-7]也说明墙体屋顶传热系数并非越小越好。因此，从降低冬季热负荷指标考虑，可采用较小的传热系数，在一定范围内效果明显；从降低夏季冷负荷指标考虑，应采用较小太阳辐射吸收系数的材料。

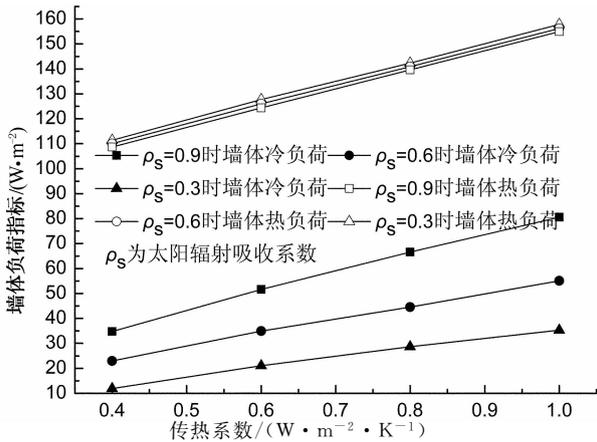


图7 模型A墙体冷热负荷指标随传热系数变化
 Fig. 7 The heat and cold load of the external wall of the model A varied with the heat transfer coefficient

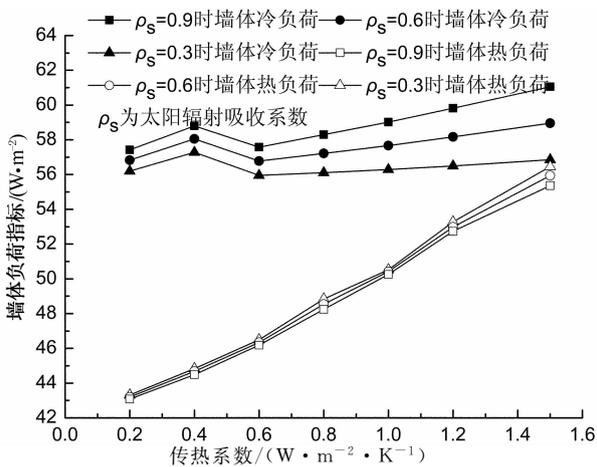


图8 模型B墙体冷热负荷指标随传热系数变化
 Fig. 8 The heat and cold load of the external wall of the model B varied with the heat transfer coefficient

4 墙体遮阳效果实验验证

为验证以上理论及软件模拟计算的结论，本文进行了实验测试。由室外综合温度的定义及计算公式可知：通过改变外墙的太阳辐射吸收系数或采取措施遮挡太阳辐射均可改变围护结构外表面的室外综合温度，因而本测试采取了屋顶及墙体遮阳的方法进行实测检验。

建造两间相同的测试房间如图9所示，房间尺寸为2.7 m×2.1 m×2.5 m，无窗，表面涂料为深灰色，屋顶、外墙均采用100 mm厚挤塑聚苯板进行保温隔热，并安装了相同的分体式空调进行室内温度控制。其中一间房间采用遮阳布对屋顶及墙体进行了遮挡，另一间不遮挡。分别选取1月份及7月份进行测试，测试日均为晴天，并分开启空调和不开启空调两种工况。逐时记录了室外空气温度 t_w 、室内空气温度 t_n 、屋顶及墙体外表面温度 θ_w 、内表面温度 θ_n 及空调耗电量 Q 。测试结果如图10、图11、图12及表4所示。



图9 实验测试房间
 Fig. 9 The test rooms

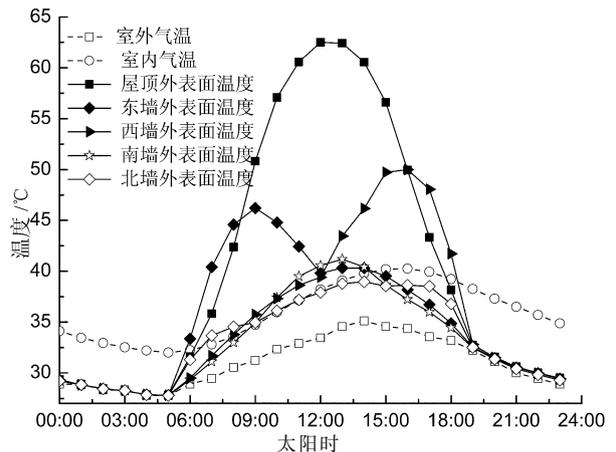


图10 夏季测试日无遮挡房间外表面温度及气温
 Fig. 10 The air temperature and the external surface temperatures of the unshaded room in summer test day

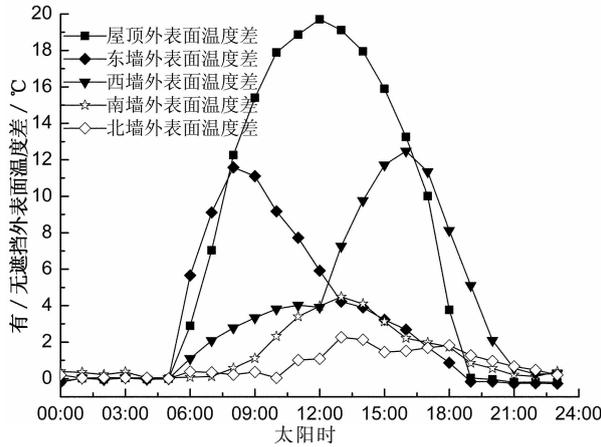


图 11 夏季测试日有/无遮挡房间屋顶及墙体外表面温度差

Fig. 11 The external surface temperature difference of the roof and the walls between the screened and unshielded room in summer test day

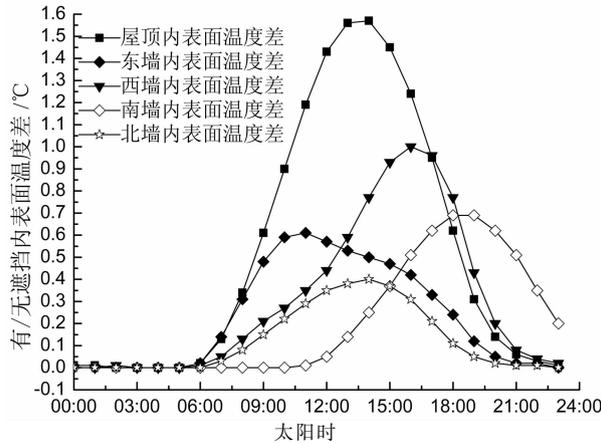


图 12 夏季测试日有/无遮挡房间屋顶及墙体内部表面温度差

Fig. 12 The internal surface temperature difference of the roof and the walls between the screened and unshielded room in summer test day

表 4 两测试房间空调耗电对比

Tab. 4 The air conditioning power consumption comparison of the two test rooms

夏季空调耗电量 / kWh		节电率 / %	冬季空调耗电量 / kWh		节电率 / %
有遮挡	无遮挡		有遮挡	无遮挡	
10.42	13.38	28.4	19.44	17.67	-10.0

注:表中数据为 1 月份及 7 月份分别连续测试 2 d 中第二天 24 h 内的耗电量。

根据实测室外气温及测试房间屋顶及墙体热工参数,通过模拟计算出屋顶及墙体外表面温度及室内气温,并与实测值进行对比,南北墙外表面温度实测值与模拟值吻合度较高,为使图面清晰,图 13 中未予以显示.对比结果如图 13、图 14 及表 5 所示.从对比结果可看出:屋顶及墙体外表面温度和室内

气温的模拟值与实测值吻合度较高,其温度平均值及温度最大值误差率均小于 6%.说明模拟结果与实测结果比较一致.

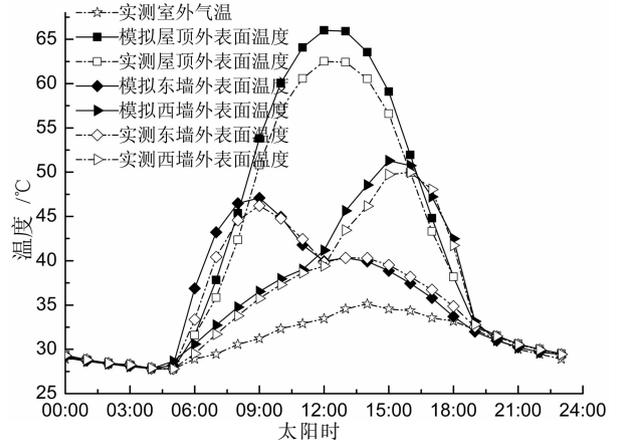


图 13 屋顶及墙体外表面温度模拟值与实测值对比

Fig. 13 The comparison between simulated and measured external surface temperatures of the roof and the walls

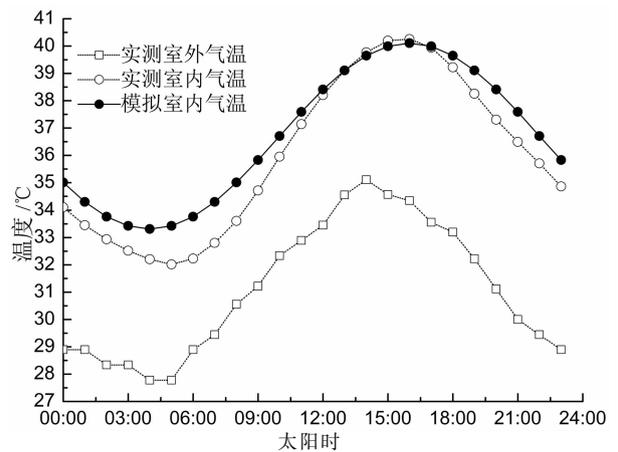


图 14 室内气温模拟值与实测值对比

Fig. 14 The comparison between simulated and measured temperatures of the room

表 5 模拟温度值与实测温度值对比表

Tab. 5 The comparison between simulated and measured temperatures

	屋顶	东墙	西墙	南墙	北墙	室内气温
$t_{mj}/^{\circ}\text{C}$	42.0	35.4	36.0	33.5	33.5	36.7
$t_{sj}/^{\circ}\text{C}$	40.7	35.2	35.4	33.2	33.3	36.0
误差率 / %	3.2	0.6	1.7	0.9	0.6	1.9
$t_{mz}/^{\circ}\text{C}$	66.0	47.1	51.3	41.7	39.4	40.1
$t_{sz}/^{\circ}\text{C}$	62.5	46.2	50.0	41.2	39.0	40.3
误差率 / %	5.6	1.9	2.6	1.2	1.0	-0.5

注: t_{mj} 为模拟温度平均值, t_{sj} 为实测温度平均值, t_{mz} 为模拟温度最大值, t_{sz} 为实测温度最大值.

5 结 论

针对夏热冬冷地区太阳辐射,夏季要“挡”、冬季要“用”的问题,如何判定建筑围护结构设计的优劣尤为重要.本文采用理论推导及模拟计算与实验验证的研究手段,以夏热冬冷气候区内典型建筑为研究对象,分析了冬、夏两季太阳辐射对建筑物围护结构热特性的影响规律,进而分析了太阳辐射在不同围护结构设计参数下,室内热环境及冷热负荷需求特性.并得出以下结论:

1)增大热阻对降低屋顶和墙体的冬季热负荷指标效果明显,两者近似呈线性关系,当热阻增大至某值后,效果减弱.而热阻增大对屋顶和墙体夏季冷负荷指标的降低则效果不如热负荷明显,并且有“反节能”风险存在.

2)降低太阳辐射吸收系数不仅能显著降低屋顶和墙体外表面温度,还能较大幅度地降低其夏季冷负荷指标,而对于屋顶和墙体的冬季热负荷指标,则影响很小.从降低夏季冷负荷指标及全年空调能耗考虑,应采用较小太阳辐射吸收系数的材料.

3)采用较小太阳辐射吸收系数的材料可使屋顶及墙体在较大热阻范围内通过隔热检查.

参 考 文 献

- [1] GB 50176—2016 民用建筑热工设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2016:17—21.
GB 50176—2016 Thermal design code for civil buildings [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2016:17—21. (In Chinese)
- [2] 钱晓倩,朱耀台.夏热冬冷地区建筑节能存在的问题与研究方向[J].施工技术,2012,41(3):27—29.
QIAN X Q, ZHU Y T. Basic research direction and problems existed in building energy saving in hot summer and cold winter climate zones[J]. Construction Technology, 2012, 41(3):27—29. (In Chinese)
- [3] GB 50189—2015 公共建筑节能设计标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2015:8—14.
GB 50189—2015 Design standard for energy efficiency of public buildings[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2015: 8—14. (In Chinese)
- [4] 王飞,苏向辉.建筑围护结构保温层厚度的经济性优化[J].建筑节能,2008,36(1):17—21.
WANG F, SU X H. Economical optimum of insulation thickness of building envelope [J]. Construction Conserves Energy, 2008, 36(1): 17—21. (In Chinese)
- [5] 刘向伟,郭兴国,陈国杰,等.建筑外墙最佳保温厚度及环境影响研究[J].湖南大学学报(自然科学版),2017,44(9):182—187.
LIU X W, GUO X G, CHEN G J, *et al.* Optimum insulation thickness of exterior wall and its environment impacts [J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences), 2017, 44(9):182—187. (In Chinese)
- [6] MASOSO O T, GROBLER L J. A new and innovative look at anti-insulation behaviour in building energy consumption [J]. Energy and Buildings, 2008, 40(10): 1889—1894.
- [7] 程飞,张旭,赵德印,等.夏热冬冷地区外墙保温特性对公共建筑空调能耗的影响[J].建筑科学,2016,32(2):77—81.
CHENG F, ZHANG X, ZHAO D Y, *et al.* Influence of external wall thermal insulation on public building air conditioning energy consumption in hot summer and cold winter area[J]. Building Science, 2016, 32(2):77—81. (In Chinese)
- [8] 清华大学建筑节能研究中心.2017 中国建筑节能年度发展研究报告[M].北京:中国建筑工业出版社,2017:89.
Building Energy Saving Research Center of Tsinghua University. 2017 annual report of China building energy saving development [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2017: 89. (In Chinese)
- [9] 楚洪亮,孙诗兵,万成龙.建筑遮阳设施对建筑能耗的影响分析[J].山东建筑大学学报,2016,31(1):33—37.
CHU H L, SUN S B, WAN C L. Study on the influence of solar shading facilities on building energy consumption[J]. Journal of Shandong Jianzhu University, 2016, 31(1):33—37. (In Chinese)
- [10] 彭小云,万玲青.建筑遮阳效果的实验研究[J].建筑热能通风空调,2016,35(3):18—21.
PENG X Y, WAN L Q. Experimental research on effect of building sunshade[J]. Building Energy & Environment, 2016, 35(3): 18—21. (In Chinese)
- [11] 陈友明,王京南,王衍金.双层皮幕墙内置遮阳百叶倾角评价方法[J].湖南大学学报(自然科学版),2017,44(9):174—181.
CHEN Y M, WANG J N, WANG Y J. Evaluation method of blind angle for double skin facades[J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences), 2017, 44(9):174—181. (In Chinese)
- [12] 郭卫琳,卢国豪,何超.夏季热反射隔热涂料对建筑墙体的节能实效研究[J].施工技术,2010,39(7):80—83.
GUO W L, LU G H, HE C. Study on energy saving effect of heat-reflective insulation coating on exterior walls of building in summer[J]. Construction Technology, 2010, 39(7):80—83. (In Chinese)
- [13] 许锦峰,陈浩.建筑反射隔热涂料节能效果与测试[J].涂料技术与文摘,2014,35(7):45—48.
XU J F, CHEN H. Research on energy saving effect of solar reflective thermal insulation architectural coatings[J]. Coatings Technology & Abstracts, 2014, 35(7):45—48. (In Chinese)
- [14] 付衡,龚延凤,余效恩,等.夏热冬冷地区外墙遮阳对建筑热环境与空调能耗的影响[J].建筑技术,2012,43(1):67—70.
FU H, GONG Y F, YU X E, *et al.* Effects of external wall shading on building's thermal environment and air conditioning energy consumption in hot summer and cold winter area[J]. Architecture Technology, 2012, 43(1):67—70. (In Chinese)
- [15] 李英,王玉卓.建筑非透明外墙材料热工性能研究[J].建筑技术,2009,40(1):38—41.
LI Y, WANG Y Z. Study of thermal performance about wall surface materials in Beijing[J]. Architecture Technology, 2009, 40(1):38—41. (In Chinese)
- [16] 于靖华,杨昌智,田利伟,等.长沙地区居住建筑外墙保温层最佳厚度的研究[J].湖南大学学报(自然科学版),2009,36(9):16—21.
YU J H, YANG C Z, TIAN L W, *et al.* Research on the optimum external wall for residential insulation thickness of the buildings in Changsha region[J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences), 2009, 36(9):16—21. (In Chinese)
- [17] 杨世铭,陶文铨.传热学[M].4版.北京:高等教育出版社,2006:63—90.
YANG S M, TAO W Q. Heat transfer [M]. 4th ed. Beijing: Higher Education Press, 2006:63—90. (In Chinese)
- [18] GB 50736—2012 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2012:11.
GB 50736—2012 Design code for heating ventilation and air conditioning of civil buildings[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012:11. (In Chinese)
- [19] 阮方,钱晓倩,匡匡亮,等.夏热冬冷地区居住建筑外墙外保温的反节能现象[J].浙江大学学报(工学版),2016,50(12):2343—2349.
RUAN F, QIAN X Q, QIAN K L, *et al.* Anti-insulation behavior for exterior wall external insulation on residential buildings in hot summer and cold winter zone[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2016, 50(12):2343—2349. (In Chinese)