

文章编号: 1671-6612 (2021) 03-347-05

# 建筑表面辐射特性对居住建筑能耗的影响研究

高 飞

(四川省建筑设计研究院有限公司 成都 610000)

**【摘 要】** 选取成都、会理两地, 针对居住建筑在不同外立面条件下, 对建筑能耗展开相关模拟计算, 研究外立面吸收系数对建筑能耗影响规律。研究表明, (1) 建筑外墙饰面材料的不同对建筑能耗的影响较屋面更为显著; (2) 若建筑仅考虑空调, 则两地建筑饰面材料宜选用吸收系数较小的, 若建筑同时考虑空调及采暖, 在会理地区外墙不宜选取辐射系数大于 0.7 的材料, 成都地区可不作考虑; (3) 屋面饰面材料选取对建筑该部分能耗影响较小, 两地都可适当放宽, 研究结果可为该类建筑工程设计及街道立面改造提供参考。

**【关键词】** 吸收系数; 室内热环境; 建筑能耗; 节能率

中图分类号 TU111.4 文献标识码 A

## Study on the Influence of Building Surface Radiation Characteristics on Residential Building Energy Consumption

Gao Fei

(Sichuan provincial architectural design and research institute Co., Ltd, Chengdu, 610000)

**【Abstract】** Chengdu and Huili are selected to carry out relevant simulation calculation for building energy consumption under different facade conditions of residential buildings, so as to study the influence rule of facade absorption coefficient on building energy consumption. the result of research shows that, (1) the influence of exterior wall finishing materials on building energy consumption is more significant than that of roof; (2) If only air conditioning is considered in the building, the materials with low absorption coefficient should be selected for the building decoration. If air conditioning and heating are considered in the building at the same time, materials with radiation coefficient greater than 0.7 should not be selected for the external wall in the Huili area, and it is not considered in Chengdu area; (3) The selection of roofing finishing materials has little influence on the energy consumption of this part of the building, and it can be relaxed in both places. The research results can provide reference for the design of this kind of building engineering and street facade reconstruction.

**【Keywords】** absorption coefficient; indoor thermal environment; building energy consumption; economy energy rates

作者 (通讯作者) 简介: 高 飞 (1993.10-), 男, 硕士研究生, 助理工程师, E-mail: 1135472415@qq.com

收稿日期: 2020-09-27

## 0 引言

建筑外立面设计目的不仅仅是为了营造建筑与环境的和谐关系, 从目前的建筑外立面设计技术手段看, 装饰效果、装饰材料选择又从某种程度上制约着节能的效果。建筑外立面所用涂料或瓷砖等, 吸收系数差异较大<sup>[1,2]</sup>。要节约能源除了减少大量的耗能设备使用外, 分地区合理规范外立面设计,

是必不可少的技术手段。

外墙饰面材料对建筑节能的影响主要存在于太阳辐射和长波辐射传热。在较为常见的两类建筑——办公及居住中, 两者在使用时间段上存在明显不同, 办公建筑多为工作日每天 7:00~18:00, 居住建筑 22:00~6:00 (次日)。研究中更多结合围护结构表面温度与太阳辐射的关系来进行建筑表面

吸收系数对建筑热环境或空调能耗的研究<sup>[3,4]</sup>。针对居住建筑的用能行为,文献<sup>[5,6]</sup>已对外立面吸收系数对建筑室内热环境的影响进行研究。上述研究中并未针对气候特点差异性 & 建筑能耗进行相关深入,其次结合建筑空调采暖使用具体情况及建筑不同围护结构研究较少。

本文针对上述情况,分别就一居住建筑在成都、会理两种气候条件下展开研究,分析屋面及外墙表面吸收系数对建筑空调采暖耗能的影响,从而可为该类地区居住建筑外立面节能设计提供理论参考。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

本文选取某居住建筑作为研究对象,分析不同工况下建筑门窗气密性对建筑能耗的影响。建筑坐北朝南,房间功能主要为卧室、书房等,每层 2 户,共 6 层,首层 3.5m,顶层 3.3m,其余楼层层高为 3.1m,建筑总高度 19.35m,建筑总面积为 2103.56m<sup>2</sup>,建筑体积 6064.98m<sup>3</sup>,建筑体形系数为 0.50。建筑立面如图 1 所示。



图 1 建筑北侧立面图

Fig.1 North elevation of the building

### 1.2 研究条件

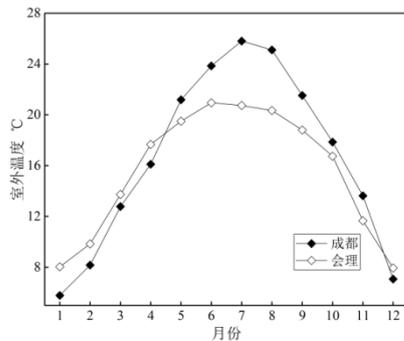


图 2 室外月平均温度对比

Fig.2 Comparison of outdoor mean monthly temperature  
通过对 DesT 中气象数据库中不同城镇的分

析,选取了成都、会理作为建筑不同工程地点。图 2 给出了 2 个城镇室外月平均温度变化。从图中可以看出,两地室外温度均表现为在夏季明显低于成都,同时冬季高于成都,冬夏两季温度差异性明显,会理月平均温度较为温和。

建筑负荷计算中,围护结构各部分详细构造见表 1,为了简化计算,忽略了一些对传热系数影响不大的材料层,如保护层、防护水层等。屋面、外墙吸收系数参考 GB 50176-2016 中不同构造的饰面材料表面吸收系数,外墙取值范围为 0.1~0.9;屋面为 0.4~0.9。

表 1 围护结构物性参数表

Table 1 Physical parameters of the envelope

| 围护结构名称 | 构造层次                              | 传热系数 |
|--------|-----------------------------------|------|
| 外墙     | 20mm 水泥砂浆+200mm 红黏土               | 0.58 |
|        | 土砖+50mm 聚苯乙烯泡沫塑料+20mm 水泥砂浆        |      |
| 外窗     | 中空玻璃+塑钢窗                          | 1.80 |
| 屋顶     | 80mm 炉渣混凝土+40mm 膨胀聚苯板+100mm 钢筋混凝土 | 0.81 |
|        | 土                                 |      |
| 内墙     | 20mm 水泥砂浆+180mm 陶粒混凝土+20mm 水泥砂浆   | 1.52 |

### 1.3 研究方法

建筑物外表面得热包括太阳辐射热量、长波辐射换热热量和对流换热热量。单位面积上得到的热量为

$$q = \alpha_{out} (t_{air} - t_w) + aI - Q_{lw} \quad (1)$$

关于  $Q_{lw}$  的计算,若仅考虑对天空的大气长波辐射,则有:

$$Q_{lw} = \sigma \epsilon_w x_{sky} (T_{wall}^4 - T_{sky}^4) \quad (2)$$

上式同样为 DesT 中计算建筑外表面与室外环境的辐射换热热量计算公式。式中,  $\epsilon_w$  为围护结构外表面对长波辐射的系统黑度,接近壁面黑度,即壁面的吸收系数  $a$ ;  $x_{sky}$  围护结构外表面对天空的角系数;  $T_{wall}$  为围护结构外表面温度, K;  $T_{sky}$  为有效天空温度, K;  $\sigma$  为斯蒂芬-玻尔兹曼常数,  $5.67 \times 10^{-8} \text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ 。关于天空有效温度  $T_{sky}$  的计算,在 DesT 中,采用与水蒸气分压力相关的经验公式进行计算<sup>[7]</sup>。

本文采用 DesT-h,按照图 1 的建筑和确定的围护结构材料建立模型进行模拟计算,建筑主卧室、

次卧室、书房为空调房间, 其他空间不作考虑, 室温上下限分别为 26℃, 18℃, 建筑主卧室、次卧室房间内空调启动时间主要为 20:00~7:00 (次日), 书房为 17:00~23:00, 空调启动温度上限统一为 29℃, 下限为 16℃, 空调在室温 26℃~29℃ 及 16℃~18℃ 的区间处于开启状态, 空调间歇运行。分别设定不同功能房间内扰 (照明、设备及人员)。通风换气次数取 0.5 次/h, 不考虑新风, 建筑墙体两侧对流换热系数按默认设置。围护结构内表面太阳辐射系数统一为 0.55, 无遮阳措施, 计算过程考虑天空背景辐射, 天空背景辐射换热系数统一取为 5.20W/m<sup>2</sup>, 建筑表面黑度统一取为 0.85。

通过式 (3) 可得出外墙或屋顶表面饰面材料不同条件下, 空调、采暖耗能的节能率, 通过该值大小来表示饰面材料改变所导致的影响状况。

$$\eta = \frac{Q' - Q_0}{Q_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中,  $\eta$  为供暖、空调耗能的节能率, %;  $Q_0$  为建筑在基准条件下的供暖、空调耗能, kWh;  $Q'$  为特定条件下的供暖、空调耗能, kWh。

## 2 计算结果与分析

对居住建筑外墙及屋面吸收系数进行分项研究, 为使各部分影响规律有更好显示, 经过比较, 从而定出在分析主要因素影响规律时, 次要因素的合理取值。

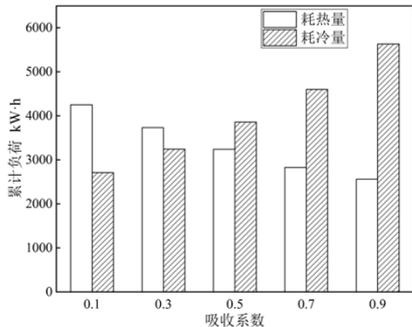


图 3 外墙吸收系数对建筑耗热 (冷) 量的影响

Fig.3 Influence of external wall absorption coefficient on building heat (cold) consumption

图 3 给出了在会理地区, 建筑屋顶饰面材料吸收系数取 0.4, 改变外墙饰面材料, 建筑全年耗热 (冷) 量的计算结果。从图中可以看出, 随着吸收系数的增加, 建筑全年耗热量逐渐减小, 全年耗冷量逐渐增加; 对比耗热量及耗冷量随外墙吸收系数

的变化趋势, 耗冷量增加幅度明显大于耗热量。即对会理地区, 居住建筑外墙饰面材料吸收系数越大, 建筑全年采暖能耗将减小, 空调能耗将明显增加。

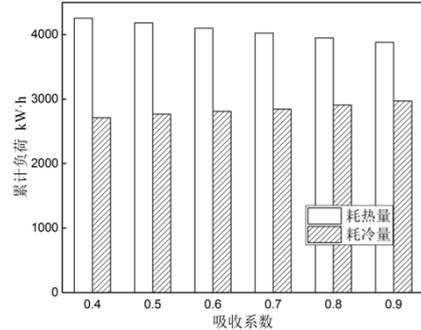


图 4 屋面吸收系数对建筑耗热 (冷) 量的影响

Fig.4 Influence of roof absorption coefficient on building heat (cold) consumption

图 4 给出了在会理地区, 建筑外墙饰面材料吸收系数取 0.1, 改变外墙饰面材料, 建筑全年耗热 (冷) 量的计算结果。从图中可以看出, 屋面吸收系数由 0.4 增加到 0.9, 建筑全年耗热量呈减小、耗冷量呈增加趋势; 对比耗热量及耗冷量的变化可知, 在吸收系数变化相同条件下, 两者变化的绝对值基本相等; 经计算屋面吸收系数每增加 0.1, 建筑全年耗热量变化 75kWh, 耗冷量变化 52kWh, 两者变化远小于图 3 耗热量及耗冷量绝对值的变化。

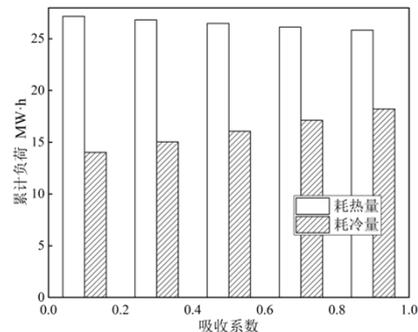


图 5 外墙吸收系数对建筑耗热 (冷) 量的影响

Fig.5 Influence of external wall absorption coefficient on building heat (cold) consumption

图 5 给出了在成都地区, 改变外墙吸收系数, 建筑全年耗热量及耗冷量的变化。从图中可以看出, 随着吸收系数的增加, 建筑耗热量与耗冷量的变化与在会理地区存在共性规律, 即对相同居住建筑在考虑围护结构外表面饰面材料时, 其全年空调、采暖能耗在不同背景城市的变化规律是相近的; 但耗热量与耗冷量的变化远没有在会理地区明显, 两地

所变现出的差异性显著，即在会理地区，居住建筑外墙饰面材料的选择对建筑耗热量及耗冷量的影响将比成都地区更大。

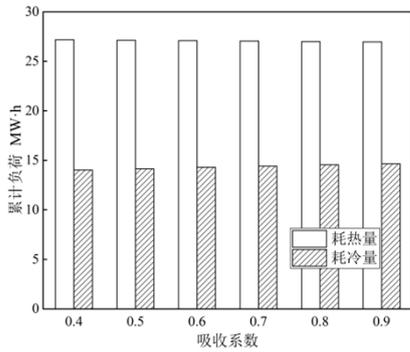


图 6 屋面吸收系数对建筑耗热(冷)量的影响

Fig.6 Influence of roof absorption coefficient on building heat (cold) consumption

图 6 给出了在成都地区，改变屋面吸收系数，建筑耗热量及耗冷量的变化。从图中可以看出，增加屋面吸收系数，建筑全年耗热量及耗冷量基本保持不变，即对成都地区居住建筑，屋面饰面材料对建筑空调、采暖部分能耗影响较小，在建筑节能设计中，可根据项目需求灵活采用。

利用式(3)分别就会理及成都两个不同城市间，计算建筑屋面饰面材料吸收系数取 0.4 时，外墙由 0.1 逐级增加到 0.9 过程，建筑不同部分耗能的节能率，计算结果如图 7 所示。

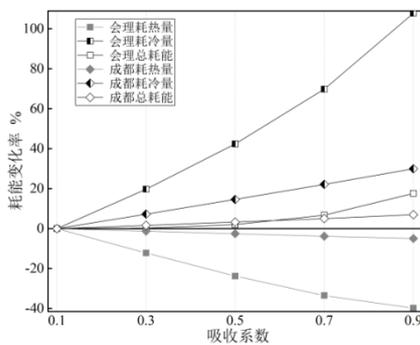


图 7 外墙吸收系数对建筑耗能的影响

Fig.7 The influence of external wall absorption coefficient on building energy consumption

由图 7 可知，在会理地区，外墙饰面材料吸收系数增加，建筑全年耗热量呈明显减小，最大可减小 40%，另一方面建筑全年耗冷量将呈明显增加，最大可增加 1.08 倍，增加趋势明显高于耗热量的变化，综合该地区建筑外墙饰面材料对两部分耗能

的影响，当吸收系数由 0.1 增加到 0.9 时，其建筑全年总的耗能将呈增加趋势对于吸收系数在 0.7~0.9 的区间内尤为明显，最大可增加 18%；对于成都地区，外墙饰面材料吸收系数由 0.1 增加到 0.9，建筑全年耗热量变化较小，最大仅为 5%，而全年耗冷量呈明显增加趋势，最大可达到 30%，综合两部分耗能的变化，总的耗能变化最大为 7%。因此，综合上述结果可知，对于会理地区，若建筑全年仅空调时，外墙应尽量采用吸收系数较小的饰面材料，若建筑同时兼顾夏季空调、冬季采暖时，则外墙宜在吸收系数在 0.1~0.7 的饰面材料，此时建筑全年总能耗变化在 7% 以内；对于成都地区，若建筑仅考虑夏季空调，则饰面材料应选尽可能小的饰面材料，若同时兼顾夏季与冬季时，材料可适当放宽。

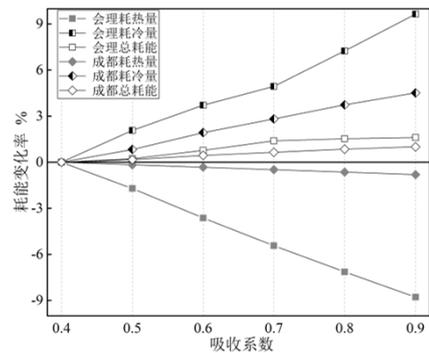


图 8 屋面吸收系数对建筑耗能的影响

Fig.8 Influence of roof absorption coefficient on building energy consumption

图 8 给出了屋面采用不同饰面材料时，建筑不同部分耗能变化情况。从图中可以看出，(1) 在会理地区，居住建筑屋面采用吸收系数较大的饰面材料，建筑全年耗热量及耗冷量均呈增加趋势，两者逐级增加幅度相近，从而总的耗能随饰面材料吸收系数变化较小最大仅为 2%；在成都地区，屋面饰面材料变化，建筑全年耗热量基本保持不变，而耗冷量有所增加，但总的耗能变化较小，最大仅为 1%；(2) 对比成都和会理，可以看出屋面饰面材料吸收系数对建筑在会理各耗能的影响较成都地区显著，当饰面材料吸收系数大于 0.7 时，空调及采暖耗能节能率将大于 5%。因此，对于成都、会理地区，屋面饰面材料的选取可适当放宽；在会理地区，若建筑仅考虑了夏季空调，则饰面材料可适当在较低值中选取。

### 3 讨论

由本文第 2 节可知, 在会理及成都地区, 外墙吸收系数的变化对建筑全年耗热量及耗冷量的影响程度远大于屋面的作用, 分析其原因有实际换热面积的影响, 屋顶建筑面积  $446.25\text{m}^2$ , 实际空调房间所对应屋顶面积  $126.31\text{m}^2$ ; 各外墙及实际对应空调面积见表 2 所示。由表中数据可知, 实际空调房间对应外墙面积为  $1210.05\text{m}^2$ , 该值为屋顶对应面积的 9.58 倍, 计算中墙体表面对应角系数统一取 0.5, 屋面对应为 1.0, 实际辐射换热面积  $S'_{roof} = 4.79S'_{wall}$ , 因此墙体换热面积将大于屋顶部分, 则墙体实际换热量将大于屋顶部分。

表 2 建筑外墙各立面相关参数

Table 2 Relevant parameters of the facade of the building

| 朝向 | 外墙     | 实际空调面积 | 占比   |
|----|--------|--------|------|
| 东  | 604.36 | 457.91 | 0.76 |
| 南  | 347.99 | 134.43 | 0.39 |
| 西  | 604.36 | 468.93 | 0.78 |
| 北  | 341.30 | 148.78 | 0.44 |

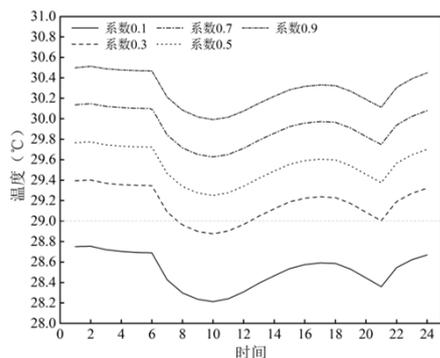


图 9 不同吸收系数条件下自然室温变化

Fig.9 Natural room temperature changes with different absorption coefficients

图 9 给出了 5 月 25 日, 该日为第 20 周星期五。室内热源主要由当天 19:00 进入, 次日 7:00 离开。在会理地区, 改变外墙表面吸收系数, 西南侧中间层卧室房间自然室温的变化。从图中可以看出, 外墙表面吸收系数增加, 房间内的气温将会上升, 吸收系数每增加 0.2, 气温逐时值将上升  $0.37^\circ\text{C}$ , 吸收系数由 0.1 增加到 0.9 时, 气温最大增加  $1.79^\circ\text{C}$ , 该温度变化超出人的忍受程度; 当建筑外墙表面吸

收系数为 0.1 时, 空调处于待机状态, 而随着吸收系数增加, 空调启动时间将逐渐增加, 直至全天处于运行状态。因此可知, 将外墙吸收系数控制在一定限值下, 将会使得空调运行时间缩短, 空调能耗也将进一步下降。

表 3 给出了会理地区西南侧中间层卧室房间自然室温分布与外墙表面吸收系数的关系。由表中数据可知, 外墙表面吸收系数增加, 自然室温小于  $16^\circ\text{C}$  与在  $16\sim 29^\circ\text{C}$  区间的小时数都呈减少趋势, 而大于  $29^\circ\text{C}$  的明显增加, 这就直接反映了建筑外墙表面吸收系数增加, 对应房间空调运行时间的增长, 同时制热时间减少, 制冷时间增长, 对应房间耗热量减小, 耗冷量增加, 而耗冷量增加明显高于耗热量, 房间总耗能将明显增加。

表 3 卧室全年自然室温统计表 (h)

Table 3 Annual Natural Room Temperature Statistics (h)

| 太阳辐射吸收系数 | <16°C | 16~29°C | >29°C |
|----------|-------|---------|-------|
| 0.1      | 3     | 8644    | 113   |
| 0.3      | 0     | 8372    | 388   |
| 0.5      | 0     | 8105    | 655   |
| 0.7      | 0     | 7795    | 965   |
| 0.9      | 0     | 7578    | 1182  |

### 4 结论

(1) 对于居住建筑外立面(外墙、屋顶)饰面材料的选择, 在会理及成都两地有着共性规律, 即吸收系数增加, 建筑全年耗热量将减小, 耗冷量将增加; 外墙吸收系数变化对建筑空调、采暖耗能影响大于屋顶。

(2) 针对居住建筑同时考虑采暖和空调时, 在会理及成都地区, 屋面饰面材料选择上可不做限制; 在会理地区, 若建筑仅考虑空调, 饰面材料宜在较小值中考虑。

(3) 针对外墙饰面材料的选择上, 对于会理地区, 若建筑仅考虑空调, 外墙应尽可能采用吸收系数较低的饰面材料, 而对于两种都考虑的建筑, 则饰面材料的选择应在 0.7 以下; 对于成都地区, 若建筑仅考虑空调, 则外墙应尽可能采用吸收系数较低的饰面材料, 若同时考虑空调及采暖, 则外墙饰面材料选择上受限较小。 (下转第 426 页)