

文章编号:1673-9469(2009)01-0072-04

## 围护结构对辐射供暖影响的初步分析

佟娜娜,王 蕾,刘 媛

(河北工程大学 城建学院,河北 邯郸 056038)

**摘要:**以辐射供暖系统下的围护结构为研究对象,通过分析辐射面材料的蓄热性能与辐射采暖空调系统启停时间的关系,以及外墙个数和类型的不同对室内热环境以及能耗的影响,得出辐射面材料的蓄热系数越大,热稳定性越好,温度变化的滞后时间也越长。外围护结构数量不同会引起地板辐射采暖室内热环境的较大变化,为了满足室内舒适度的要求,随着外墙个数的增加,应提高地板表面温度。

**关键词:**围护结构;辐射供冷暖;蓄热性能;耗热量

**中图分类号:**TU111

**文献标识码:**A

### Preliminary analysis of enclosures on the impact of radiant cooling and heating

TONG Na-na, WANG Lei, LIU Yuan

(Institute of Urban Construction, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China)

**Abstract:** Aiming at the building envelopes in the radiant cooling and heating system, this paper analyzes the relationship between the thermal storage performance of radiant surface's materials and start-up or shut down time of heating and air-conditioning system. The impact of the external walls with different number and different types on indoor thermal environment is studied. It comes to the conclusion that the thermal storage coefficient of radiant surface's materials is greater, which will lead to better thermal stability, the longer lag time in temperature change. The external walls with different number will cause larger changes in indoor thermal environment. With the increase in the number of external walls, floor surface temperature should be raised in order to meet the requirements of indoor comfort.

**Key words:** building envelope; radiant cooling and heating; heat storage performance; heat consumption

近年来,由于具有热舒适性好,室内温度分布均匀,占用建筑空间小,使用寿命长,无噪声等优点,辐射供暖空调系统受到人们的广泛关注。我国在上世纪50年代末就已经将该技术应用于人民大会堂,华侨饭店等工程中。在欧美尤其是在德国和法国也得到了广泛的应用。至1994年为止,法国约有20%的住宅建筑装设了地板采暖系统,德国为41%,奥地利为25%,瑞士为48%<sup>[1]</sup>。

采暖空调系统设计、运行和控制管理与建筑围护结构之间是相互影响、相互制约的。变动其中一项,必然对另外一项产生影响。本文通过对邯郸现有建筑实体的测试,分析不同的围护结构对辐射采暖空调系统的影响,得出了在辐射供暖

系统模式下,围护结构的特性应与辐射供暖系统相耦合,才能充分发挥其节能潜力。

### 1 辐射面结构的蓄热性能对系统运行的影响

在辐射供暖空调系统运行控制方面,应根据建筑物功能和季节、节假日时间,利用建筑围护结构的蓄冷、蓄热效果,合理制定出设备启动和停止运行的时间。尤其对于办公楼类空调,间歇运行时,确定最佳的启动和停止时间,在保证舒适的条件下,节约空调能耗。

由于辐射面材料的不同,辐射面温度变化存在着不同的程度的滞后与延迟。这与辐射面材料

的蓄热系数有关,蓄热系数越大,热稳定性越好,滞后时间越长。对饰面层为地板砖,  $K = 0.79 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ , 分别测试机组开启和停止后,室内干球温度及辐射面温度大小,每 1h 测一次,连续测试三天将数据用 EES 拟合,如图 1 所示。从机组开启到系统稳定需要 4h - 5h,系统停止的延迟时间更长,6h 室内温度下降约 2.6℃。

### 2 不同的外围护结构对室内热环境影响

实验测试对象为邯郸市某住宅小区的地板辐射供暖系统,2008 年 1 月份同时对建筑物中间层非边户和顶层边户各一个房间室内围护结构的内表面温度进行测试,这两个房间的建筑面积相同。测试结果见图 2、图 3。

中间层非边户地面温度和顶棚温度相近,比室温高 1℃ - 2℃ 左右,内墙表面包括北墙、东墙和西墙温度与室温接近;南外墙比室温低 5℃ 左右。顶层边户屋面、西墙、南墙均为外围护结构,受其影响,室内温度较低,顶棚温度与南墙、南窗、西墙的温度接近,内墙温度比室内温度低 3℃ - 4℃。

由上述分析可知,外围护结构数量不同将引起地板辐射采暖室内热环境的较大变化。在该建筑内,随着外围护结构数量增加,房间盘管的间距在距外墙侧均有加密,但从试验测试结果来看,顶层边户室内温度降低依然很大。

### 3 外墙个数不同对耗热量的影响

对上述两个房间,即中间层非边户(一面外墙)和顶层边户(两面外墙 + 屋面)进行耗热量计算,依据墙、窗、及屋面材料的不同,查文献[2]得,外墙  $K = 0.6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,外窗  $K = 2.7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,外屋面  $K = 0.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,外墙内表面对流换热系数  $h_n = 9.1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,外表面  $h_w = 25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,外窗内表面  $h_n = 10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

1) 当供暖房间为中间层非边户(一面南外墙)时,根据式  $T_{\text{int}} = \frac{T_1 A_1 + T_2 A_2 + \dots + T_n A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$ ,对内表面温度的耦合问题采用试算法加以解决,多次试算后解得  $t_{\text{内墙}} = 17.4^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{外墙}} = 15.7^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{外窗}} = 14.8^\circ\text{C}$ 。

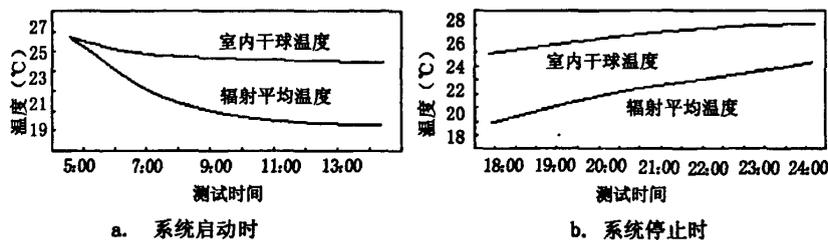


图1 室内干球温度和辐射面温度随时间的变化

Fig.1 The change of the indoor wet bulb temperature and the radiant surface temperature

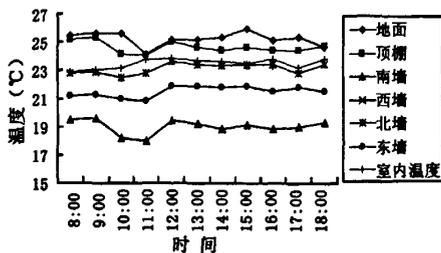


图 2 中间层非边户温度变化曲线

Fig.2 Temperature changing curve of the middle room in the middle layer

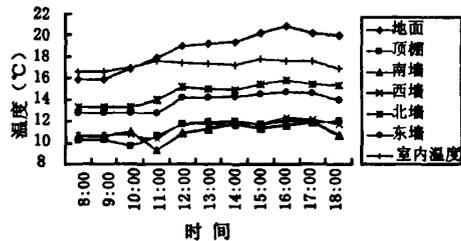


图3 顶层边户温度变化曲线

Fig.3 Temperature changing curve of the edge room in the top layer

外墙耗热量:

$$Q_{\text{wall}} = F \times \frac{\Delta t_w}{\sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{h}} = 7.38 \times \frac{15.7 - (-3.9)}{\frac{1}{K} - \frac{1}{h_m}} = 7.38 \times \frac{19.6}{\frac{1}{0.6} - \frac{1}{9.1}} = 92.72 \text{ W}$$

外窗耗热量:

$$Q_{\text{window}} = F \times \frac{\Delta t_w}{\sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{h}} = 3.06 \times \frac{14.8 - (-3.9)}{\frac{1}{K} - \frac{1}{h_m}} = 3.06 \times \frac{18.7}{\frac{1}{2.7} - \frac{1}{10}} = 211.93 \text{ W}$$

冷风渗透耗热量<sup>[4]</sup>:

$$Q_a = 0.278 n V \rho_w C_p \Delta t = 0.278 \times 0.5 \times 4.2 \times 3.6 \times 2.9 \times 1.3 \times 1.01 \times [18 - (-3.9)] = 28.79 \times 21.9 = 175.25 \text{ W}$$

总耗热量:

$$Q_z = Q_{\text{wall}} + Q_{\text{window}} + Q_a = 92.72 + 211.93 + 175.25 = 479.9 \text{ W}$$

2)当供暖房间为顶层边户(两面外墙+屋面)时,南墙、西墙与屋面均为外围护结构,与一面外墙的情况相比,由于西墙和屋面温度降低值较大,势必引起地板温度的急剧升高。经过计算,地板温度升至28℃,内墙表面温度均上升0.1℃左右。

外墙耗热量:

$$Q_{\text{wall} + \text{ceiling}} = F \times \frac{\Delta t_w}{\sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{h}} = (7.38 + 12.18) \times \frac{16.1 - (-3.9)}{\frac{1}{K_{\text{wall}}} - \frac{1}{h_m}} + 15.12 \times \frac{16.1 + 3.9}{\frac{1}{K_{\text{ceiling}}} - \frac{1}{h_m}} = 19.56 \times \frac{20}{\frac{1}{0.6} - \frac{1}{9.1}} + 15.12 \times \frac{20}{\frac{1}{0.5} - \frac{1}{9.1}} = 250.76 + 160 = 410.76 \text{ W}$$

外窗耗热量:

$$Q_{\text{window}} = F \times \frac{\Delta t_w}{\sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{h}} = 3.06 \times \frac{13.9 - (-3.9)}{\frac{1}{K} - \frac{1}{h_m}} = 3.06 \times \frac{17.8}{\frac{1}{2.7} - \frac{1}{10}} = 201.7 \text{ W}$$

冷风渗透耗热量:

$$Q_a = 0.278 n V \rho_w C_p \Delta t = 0.278 \times 0.5 \times 4.2 \times$$

$$3.6 \times 2.9 \times 1.3 \times 1.01 \times [16 - (-3.9)] = 0.278 \times 28.79 \times 19.9 = 159.27 \text{ W}$$

总耗热量:

$$Q_z = Q_{\text{wall}} + Q_{\text{window}} + Q_a = 410.76 + 201.7 + 159.27 = 771.73 \text{ W}$$

当增加一面外墙,屋面为外屋面时,建筑物耗热量增加了19.4W/m<sup>2</sup>。

由以上的计算结果可以看出,在地板采暖系统中,随着外墙个数的增加,室内热负荷也相应增大,建筑物耗热量增加,为了满足室内舒适度的要求,需要提高地板表面温度,由于各围护结构的辐射作用,其他内表面温度也会相应升高,外墙的温度升高会造成对外散热量的增大,需要通过缩小盘管间距增加散热面的散热量,来满足室内温度和舒适度要求。

#### 4 不同围护结构类型的影响

保温和隔热性能优良的外围护结构,可以有效减少建筑物内外环境的热交换。对于辐射空调系统,围护结构的类型是影响室内热环境的一个重要因素,如表1所示,外围护结构对散热影响很大。若提高外墙的保温性能,一是增加外墙的厚度,二是降低外墙的传热系数,一般采用后者。在《民用建筑节能设计标准》中,对于节能50%的建筑外墙传热系数都有一个下限规定,根据要采用的外墙传热系数,计算保温材料的厚度。外窗的热损失占总热损失的20%~25%<sup>[5]</sup>,目前采用最多的是Low-E中空玻璃中充注氩气,这种节能窗的传热系数由普通玻璃的6.4 W/(m<sup>2</sup>·K)降低到1.88 W/(m<sup>2</sup>·K)<sup>[6]</sup>,提高了窗子的保温性。在密封方面,采用弹性密封材料等可减少冷风渗透量。节能建筑对于辐射空调更有利,一是弥补了辐射空调供暖能力不足,良好的围护结构能够降低室内负荷,二是节能建筑的蓄热性较一般建筑高,有利于空调稳定运行,三是由于外墙保温材料的使用,外环境对外墙内表面温度的影响降低,室内平均辐射温度降低。

节能型建筑的外围护结构相对导热系数小,室内受外界的影响也较小,因此在使用辐射吊顶或地板供暖系统时,应在节能型建筑中使用,这样才能更好的发挥辐射空调的优势。

表 1 供冷建筑热损失百分率<sup>[7]</sup>

Tab. 1 The percentage of building heat loss in cooling system

建筑外围护结构类型	差(平均传热系数)	中(平均传热系数)	好(平均传热系数)
	2.81 W/(m <sup>2</sup> ·K)	1.57 W/(m <sup>2</sup> ·K)	0.75 W/(m <sup>2</sup> ·K)
地板辐射供暖	165.1	91.6	43.6
辐射吊顶供暖	169.6	95.9	44.6

## 5 结论

1)蓄热性能不同的辐射面材料,对辐射面温度变化存在着不同程度的滞后与延迟,采用间歇运行模式时,据此确定最佳的启动和停机时间,在保证舒适的条件下,节约空调能耗;

2)外围护结构数量不同将引起地板辐射采暖室内热环境的较大变化。在设计过程中应该通过缩小盘管的间距、增加散热面积、增强外窗气密性、增加围墙保温性等方法改善建筑顶层边户的室内热环境。随着外墙数的增加,建筑物耗热量增加,为了满足室内舒适度的要求,需要提高地板表面温度;

3)节能型建筑的外围护结构相对导热系数小,室内受外界的影响也较小,有利于辐射空调稳定

运行。

## 参考文献:

- [1] 王子介.低温辐射供暖与辐射供冷[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [2] GB50019-2003,采暖通风与空气调节设计规范[S].
- [3] L巴赫基.房间的热微气候[M].傅忠诚译.北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [4] 贺平,孙刚.供热工程[M].北京:中国建筑工业出版社,2001.
- [5] 郑茂于,齐杰.一种适应于严寒地区的新型节能窗[J].低温建筑技术,2002,(4):77-79.
- [6] 韩亚伟,王薇薇.北方地区建筑外窗节能技术[J].建筑节能,2007,(10):45-46.
- [7] 王子介.地板供冷的研究与进展[J].南京:南京师范大学学报,2006,6(1):34-38.

(责任编辑 闫纯有)

(上接第 68 页)

## 4 结论

1)煤矸石路堤或填料在动态淋溶作用下溶解释放的主要污染组分为总硬度、硫酸盐、总铁、TDS等,pH值的变化范围为7.05~9.11,淋溶液成弱碱性。而其它污染物质,如硝酸盐、氯化物、锰、铜等为少量或微量。

2)淋溶初期,淋溶液中总硬度、TDS、总铁及硫酸盐等污染物质等质量浓度较高,以后随着淋溶量(降水量)的增加煤矸石路堤中的污染物逐渐被降雨淋溶水带走,煤矸石中污染物溶解释放的质量浓度越来越小,溶出速率也越来越慢,淋溶液中各污染物质量浓度逐渐降低,如果淋溶量继续增加,最终会达到平衡。

3)煤矸石路堤或填料中污染物溶解释放成指数曲线衰减。利用该衰减规律可预测煤矸石路堤污染物在大气降水淋滤下对土壤和地下水污染的

强度。

4)煤矸石路堤或填料的使用会对公路沿线地下水 and 地表水带来一定的环境污染,但污染程度与煤矸石的组成成分和分化程度有关。

## 参考文献:

- [1] 刘迪.煤矸石的环境危害及综合利用研究[J].气象与环境学报,2006,22(3):60-62.
- [2] 冯吉燕,刘志斌.煤矸石中金属元素对人体健康影响的研究[J].露天采矿技术,2006,(3):41-44.
- [3] AZCUE J M. Environmental impacts of mining activities: emphasis on mitigation and remedial measures[M]. New York Springer,1999.
- [4] 梁冰,肖利萍,陆海军,等.煤矸石在动态淋滤作用下污染物释放规律研究[J].水利水电科技进展,2006,26(4):27-30.
- [5] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会.水和废水监测分析方法(第四版)[M].北京:中国环境科学出版社,2002.
- [6] GB 3838-2002,地表水环境质量标准[S].

(责任编辑 刘存英)