

# 关中地区日光温室北面复合保温墙体的传热研究

王宏丽, 任 雷, 党永华, 邹志荣

(西北农林科技大学 园艺学院 陕西 杨凌 712100)

**摘 要:** 分别对砖墙、加气混凝土墙、砖墙与珍珠岩复合墙以及砖墙与苯板复合墙这 4 种墙体的热阻、热惰性指标和热流密度进行计算, 通过分析比较, 得出砖苯复合墙体保温性最好, 加气混凝土墙体热稳定性最好。综合保温和热稳定性以及保护耕地节约能源考虑, 加气混凝土墙体是温室北墙的最好材料。

**关键词:** 温室墙体; 热阻; 热惰性指标; 热流密度

**中图分类号:** S 625.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2008)07-0113-03

节能日光温室是我国北方地区重要的农业生产设施, 北墙体是日光温室中重要的保温蓄热构件, 所以温室北墙体的构造影响着日光温室的温度和能源的使用。目前日光温室的北墙体主要有 4 种类型: 单一材料墙体、夹心复合墙体、内保温复合墙体和外保温复合墙体。关于复合墙体的传热性能已有一些研究, 房树田等<sup>[1]</sup>提出了 EPS 外保温复合墙体的保温层厚度的设计方法, 并在试验的基础上分析了这种保温墙体的可行性和合理性。朱兴连<sup>[2]</sup>对粉煤灰加气混凝土复合墙体进行了夏季非稳定传热的热工计算, 并对此墙体在夏季自然通风

情况下能否满足隔热标准要求作了验算。庞丽萍<sup>[3]</sup>针对复合墙体传热问题, 在分析其组成及传热特点的基础上, 建立数学模型, 并采用有限差分隐式格式求解。

陕西关中地区的节能日光温室发展迅速, 目前使用的墙体类型主要有粘土砖、砖苯板、砖珍珠岩复合墙体。但是, 国家发改委已经发出通知, 中国将在 2010 年底所有的城市都必须禁止使用实心粘土砖。因此, 拟采用加气混凝土砌块作为新型温室北墙建筑材料, 其是否具有好的保温性能, 满足温室内植物生长的需求, 还有待分析研究。现针对这 4 种墙体, 从热阻、热惰性指标和热流密度等方面研究分析了它们的热性能。

## 1 复合墙体的传热

### 1.1 复合墙体的结构及物理参数

根据保温材料、各层材料的相对位置主要对 4 种结构的复合墙体进行研究, 如表 1 所示。

### 1.2 复合墙体热阻计算

复合墙体的总热阻根据式(1)计算, 计算结果见表 2。

**第一作者简介:** 王宏丽(1966-), 女, 硕士, 副教授, 现主要从事温室节能研究。E-mail: daisy. h. wang@gmail.com.

**通讯作者:** 邹志荣。

**基金项目:** 国家科技支撑计划资助项目(2006BAD28B07-5); 西北农林科技大学人才基金资助项目(01140507)。

**收稿日期:** 2008-02-20

15 cm, 没有基质软化的长到 20~25 cm、叶柄幼嫩、小叶尚未展开呈拳钩状时及时采收。基质软化的要扒开基质采收, 然后再培上。采收间隔的时间一般为 7~10 d。不留母株的一般采收 3 次生产就结束, 而留母株的可以进行多次采收, 直到出温室进入露地圃地培养为止。

## 2.4 露地圃地培养

### 2.4.1 整地施肥 方法同前。

**2.4.2 圃地培养** 结束温室生产, 一般于当地的 5 月下旬至 6 月上旬结束日光温室生产。挖取温室母株定植露地圃地。母株浇水: 在挖取母株前 1 d, 要浇 1 次透水; 挖母株: 在采挖母株时要尽量多带宿土, 少伤根, 不要碰伤幼茎, 并将培养出来的进行光合作用的植株剪掉。挖母株与定植同时进行, 定植方法同前; 遮光: 方法同前; 浇水追肥: 定植后有新的嫩茎长出, 并伸展进行光合作

用, 此时可以进行 1 次追肥, 用尿素 15 kg/667m<sup>2</sup>, 随水进行。以后经常保持湿润不得见干。对留用母株还要进行多次的根外追肥, 一般用 0.2% 的磷酸二氢钾, 10 d 喷 1 次, 一定要在傍晚前后喷施, 还要喷在叶片的正面; 植株调整: 在长出的新的嫩茎当中选留生长健壮的做留用母株, 每丛留 3 株即可够用。新出现的嫩茎和弱小的植株, 均要及时疏除, 以保证良好的通风透光; 撤遮阳网: 当植株培养起来后, 就应将遮阳网及时撤去, 使植株完全在阳光下进行正常的光合作用, 以积累更多的营养物质, 并回流到根茎当中贮藏, 以利于再次的生长发育; 防初霜: 防初霜对营养物质能更多的回流到地下根状茎当中贮藏, 有着十分重要的作用。可以通过熏烟和对植株直接覆盖防寒塑料就能解决这个问题。“烧荒”方法同前。

$$R = \frac{1}{h_0} + \sum \frac{\delta_j}{\lambda_j} + \frac{1}{h} \quad (1)$$

式中:  $R$  为复合墙体的总热阻:  $(m^2 \cdot K) \cdot W^{-1}$ ;  $h_j$  为温室北墙体内表面空气的对流换热系数:  $W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}$ , 取  $h_j = 23W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}$ ;  $\delta_j$  为墙体第  $j$  层的厚度/ $m$ ;  $\lambda_j$  为墙体第  $j$  层的导热系数:  $W \cdot (m \cdot K)^{-1}$ ;  $h_0$  为墙体外表面对空气的对流换热系数:  $W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}$ ,  $h_0 = 8.7 W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}$ 。

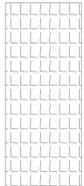
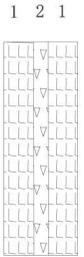
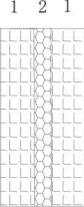
由表 2 中看出, 4 种墙体根据热阻的大小排列, 分别为砖墙和苯板 > 加气混凝土 > 砖墙珍珠岩 > 纯砖墙。因此, 墙体的热阻越大, 热量从温室内向外传递的能力越差, 传热量越小, 其保温性能越好。所以根据热阻的大小, 砖苯复合墙体的传热量最小, 性能最优; 纯砖墙传

热量最大, 性能最差。

### 1.3 复合墙体稳态传热热惰性指标的计算

围护结构的热惰性指标的大小, 表征结构的热稳定性优劣。当室外的气温波动时, 围护结构的热惰性指标越大, 其室内气温的波动越小; 反之, 围护结构的热惰性指标越小, 其室内气温的波动越大。从温室内植物的生长考虑, 需要室内有相对稳定的温度环境, 尽量少受室外恶劣环境的影响, 所以需要温室北墙体有大的热惰性指标。热惰性指标的计算公式为  $D = \sum RS$ , 其中  $R$  为各材料层热阻  $(m^2 \cdot K \cdot W^{-1})$ ,  $S$  为材料蓄热系数  $(W \cdot (m \cdot K)^{-1})$ 。由上述公式算得各个墙体的热惰性指标见表 3。

表 1 墙体的构造组成及性能参数<sup>[4-9]</sup>

墙体编号	墙体类型	厚度 / m	热导率 / $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	比热 / $kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	密度 / $kg \cdot m^{-3}$	蓄热系数 / $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
1	 粘土砖	0.6	0.81	1.05	1800	10.53
2	 加气混凝土	0.6	0.16	1.05	600	3.28
3	 1粘土砖 2珍珠岩	(1)0.24 (2)0.12	(1)0.81 (2)0.07	(1)1.05 (2)1.17	(1)1800 (2)120	10.53 0.84
4	 1粘土砖 2苯板	(1)0.24 (2)0.12	(1)0.81 (2)0.03	(1)1.05 (2)1.34	(1)1800 (2)8	10.53 0.16

对于日光温室的保温性能, 目前还没有统一的评价指标, 这里参照国家行业标准《夏热冬冷地区居住建筑

节能设计标准》JG134-2001, 以  $D$  (或  $R+D$ ) 值作为评价标准, 对于外墙要求  $D \geq 3.0$ 。对于日光温室, 应尽量采用

较大的  $R$  及  $D$ 。这里通过比较, 得出砖墙苯板复合墙体和加气混凝土墙体这两种墙体是符合需求的墙体类型。并且, 加气混凝土墙体的热稳定性 ( $D=12.3$ ) 比砖苯墙的要好 ( $D=10.24$ )。若综合考虑热阻和热惰性指标, 可以得出同样的结论, 加气混凝土墙体的热性能由于砖苯墙体。

表 2 各种墙体类型的热阻

墙体类型	总热阻 $R/ m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
纯砖墙	0.9
加气混凝土	3.91
砖墙和珍珠岩	2.46
砖墙和苯板	4.75

表 3 各种墙体类型的热惰性指标

墙体类型	热惰性指标	热阻 $R/ m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$	$R+D$
纯砖墙	7.79	0.9	8.69
加气混凝土	12.3	3.91	16.21
砖墙和珍珠岩	6.51	2.46	8.97
砖墙和苯板	10.24	4.75	14.99

#### 1.4 复合墙体稳态时热流密度计算

由传热学原理可知, 当其墙体两侧存在温差时, 由于墙体的导热和墙体两侧空气的对流换热作用, 使热量由高温空气一侧转移至低温空气一侧。当忽略墙体辐射的作用, 以及各层材料之间的接触热阻, 空气间层按纯导热计算时, 则墙体的热流密度可根据式(2)计算:

$$q = K \Delta t = K(t_{\text{外空}} - t_{\text{内空}}) \quad (2),$$

式中:  $q$  为复合墙体的热流密度:  $W \cdot m^{-2}$ ;  $K$  为复合墙体的综合传热系数:  $W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}$ ;  $K = 1/R$ ;  $\Delta t$  为室内外空气温差;  $K$ : 根据植物生长的特点和需求, 温室内空气计算温度取  $15^\circ C$ , 室外空气计算温度参考居住建筑标准。冬季采暖中, 室外计算温度分为三个等级, 因为植物对温度的要求比较低, 这里选取的  $-5^\circ C$  是最低等级的要求, 西安地区取为  $-5^\circ C^{[6]}$ 。

从表 4 可见: 根据热流密度, 墙体的排列顺序为纯砖墙 > 砖墙珍珠岩 > 加气混凝土 > 砖苯墙; 粘土砖墙热流密度远远大于其他类型墙体, 其他复合墙体的热流密度相对要低。加气混凝土墙体和砖苯墙体相比, 其热流

密度差别不是很大; 而砖珍珠岩墙体和砖苯墙体相比, 则相差较大, 其热流密度要比砖苯墙体小了近一倍。所以从热流密度即传热量的大小, 得出砖苯墙体和加气混凝土墙体均可用于温室北墙体, 而珍珠岩则较差, 加之施工复杂, 不宜用于温室北墙。

表 4 各种墙体类型的热流密度

墙体编号	墙体类型	热流密度 $/ W \cdot m^{-2}$
1	纯砖墙	22.22
2	加气混凝土	5.12
3	砖墙和珍珠岩	8.13
4	砖墙和苯板	4.2

## 2 结论

根据热阻和热流密度, 砖苯复合墙体具有最大的总热阻和最小的热流密度, 具有更好的保温效果。

根据热惰性指标, 加气混凝土这种墙体的热惰性指标最大, 说明这种墙体具有最优的热稳定性。

综合考虑热阻和热惰性指标, 加气混凝土墙体  $D+R=16.21$  最大, 热性能最优。另外, 根据国务院办公厅关于进一步推进墙体材料革新和推广节能建筑的通知(国办发〔2005〕33号), 到 2010 年底, 所有城市禁止使用实心粘土砖。所以从保护耕地节约能源考虑, 加气混凝土是温室北墙材料的最好选择。

### 参考文献

- [1] 房树田, 高跃春. EPS 外保温复合墙体的保温层厚度设计研究[J]. 黑龙江工程学院学报(自然科学版), 2004, 18(1): 57-59.
- [2] 朱兴连. 复合墙体夏季非稳定传热的热工计算[J]. 新型建筑材料, 2002(12): 27-29.
- [3] 庞丽萍, 王浚, 张艳红. 复合保温墙体传热研究[J]. 低温建筑技术, 2003(4): 67-69.
- [4] 张立芸. 日光温室新型墙体结构性能分析[J]. 沈阳农业大学学报, 2006, 37(3): 459-462.
- [5] 白义奎. 外墙聚苯板复合墙体在日光温室中的应用[J]. 房材与应用, 2002, 30(1): 27-29.
- [6] 朱林. 暖通与空调常用数据手册[M]. 2 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.

## Hat Transfer Performance of North Wall in Solar Greenhouse in Guanzhong

WANG Hong-li, REN Lei, DANG Yong-hua, ZHOU Zhi-rong

(College of Horticulture, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling, Shaanxi, 712100, China)

**Abstract:** Through computing the thermal resistance, thermal inertia index and heat flux, four types wall including brick, aerocrete, brick-perlite and brick-polystyrene foam walls were compared. Results showed that brick-polystyrene foam wall was the best one according to the heat preservation and the aerocrete was best according to the heat stability. Combining these two and cultivation soil protection and energy saving, aerocrete was the best one for greenhouse north wall.

**Key words:** North wall in greenhouse; Thermal resistance; Thermal inertia index; Heat flux