

被动式太阳能温室平均热损系数的测试与分析

王春彦, 张洪海, 彭尔瑞 (云南农业大学水利水电与建筑学院, 云南昆明 650201)

摘要 采用相似性原理, 将具有热水调温性能的被动式太阳能温室系统视为平板集热器, 采用类似的方法, 分析了温室的热量平衡、热损失、平均热损系数, 针对实验温室进行了温室平均热损系数的测试和计算, 结果表明采用立体面接收太阳入射光的被动式太阳能热水器, 具有热效率高、散热快的特点, 可使温室白天的高温推迟 2~3 h, 室内气温最高降低 2~3 °C, 夜间增温 3~7 °C。

关键词 被动式温室; 平均热损系数; 热平衡

中图分类号 S214 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)10-04681-02

Test and Analysis on Average Heat Loss Coefficient of Passive Solar Greenhouse

WANG Chun-yan et al (College of Water Resources & Hydropower and Architecture, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201)

Abstract Using the similar principle, a passive solar greenhouse with hot water system to adjust the warm performance is regarded as the plate collector. By using the similar method, the greenhouse heat balance, heat loss and average heat loss coefficient were analyzed. In view of a greenhouse, the average heat loss coefficient was tested and calculated. The results showed that the passive solar greenhouse has characteristics of high heat efficiency and rapid heat radiation, which can delay 2-3 h high temperature in daytime, reduce 2-3 °C in greenhouse, increase 3-7 °C in night.

Key words Passive greenhouse; Average heat loss coefficient; Heat balance

温室是现代农牧业和水产养殖的重要生产设施。太阳能温室按照太阳能与温室的结合方式, 可分为被动式和主动式两种。被动式太阳能温室把集热系统与温室结合为一体, 或温室本身也可作为集热器, 设计时旨在获得最多的太阳能^[1]。

任何物体当其温度大于绝对零度时, 都有向外发射辐射能的特性。由维恩位移定律(Wien's displacement law)可知, 物体产生的热辐射中最大波长 λ_m 与物体温度 T 的关系为 $\lambda_m T = 2898 \mu\text{m} \cdot \text{K}$ 。若在太阳能温室中布置闷晒式太阳能热水器, 参照 1 m² 太阳能热水器 1 d 可产 40~60 °C 的热水 100 kg, 此时热水发射的辐射能 λ_m 为 8.7~9.26 μm 。根据玻璃的光学性质, 玻璃对于太阳光谱($\lambda = 0.3 \sim 3 \mu\text{m}$)有很好的投射率(约为 80% 左右), 但对于 $\lambda > 5 \mu\text{m}$ 的红外辐射却不能透过^[2]。这就导致白天太阳照射下温室中温度不断升高, 即产生“温室效应”。

据报道, 希腊仅 6%~7% 的温室使用加热系统, 而其耗能却占国家年能耗的 0.5%, 在南欧, 温室加热费用超过其总运行费用的 30%^[3]。经过调研与对比, 在设计上采用了由透明玻璃和底座组成, 能全方位呈立体面接收太阳入射光的闷晒式太阳能热水器——全方位立体面透光太阳能热水器^[4], 并适当布置在温室中, 以提高温室的热容量, 为温室调温。

1 温室能量平衡

1.1 温室特征 温室建立在昆明(25°01' N, 102°41' E, 海拔 1 891.4 m), 为南北向, 在 1 幢 2 层钢筋混凝土楼房的 2 楼的屋面上。温室南北长 10.34 m, 东西长 4~4.67 m, 净面积 45.09 m², 东、西、南、顶 4 面为 3 mm 玻璃铝合金结构, 北面为砖墙, 屋顶倾角 25°。南侧 24.14 m² 为养殖温室, 北侧 20.95

m² 为育苗温室, 养殖温室比种植温室低 1.20 m。

1.2 太阳能热水器特征 占地面积为 0.23 m² 的全方位立体面透光太阳能热水器, 日产热水 30~35 kg, 取太阳入射角为零时的最大投影面积为采光面积, 测试得到热水器的平均日效率 $\eta_d = 59.92\%$, 平均热损系数 $U_L = 35.16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})$ ^[5]。全方位立体面透光太阳能热水器平均日效率高于一一般平板型热水器, 平均热损系数大于一一般家用太阳能热水器, 白天热效率高, 夜间散热快。

1.3 温室能量平衡 为讨论问题简便, 作如下假设: (1) 温室是密闭的, 不考虑通风换气影响; (2) 忽略温室内空气的温度差异, 近似为集总热容体; (3) 温室内气压为大气压; (4) 温室内水量一定; (5) 不考虑植被的影响^[6-7]。

考虑其中布置了全方位立体面透光太阳能热水器的被动式太阳能温室与平板型集热器的相似性^[8], 温室的能量平衡方程可写为

$$A \{ [HR(\tau\alpha)]_b + [HR(\tau\alpha)]_d \} = Q_u + Q_L + Q_s$$

式中: H ——单位时间内投射在单位水平表面积上的太阳直射或散射辐射; R ——投射在水平表面上的太阳直射或散射辐射转换到温室屋顶面上的转换因子; $(\tau\alpha)$ ——屋顶玻璃对于太阳直射或散射辐射的透过率与吸收率之积; A ——温室采光面积; Q_u ——单位时间内热水吸收的能量; Q_L ——单位时间内温室散失到环境的能量损失; Q_s ——单位时间内温室贮存的能量。

2 温室热损失

温室的热损失 Q_L 由地面散热 Q_f 、侧面损失 Q_e 和顶部散热 Q_t 3 部分组成, 即

$$Q_L = Q_f + Q_e + Q_t$$

采用等效热网络, 可将温室地面、侧面和顶部的热量损失集总表示为

$$Q_L = AU_L(t_g - t_a)$$

式中: U_L ——温室总热损系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})$; t_g ——温室内

气温, $^{\circ}\text{C}$; t_a ——温室外环境温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

3 温室平均热损系数测试

基于相似性考虑, 温室平均热损系数采用与家用太阳能热水器热性能试验方法(GB/T 12915—91)^[9]相似的方法, 进行测试和计算。

3.1 测试条件与方法 测定在无太阳辐射条件下进行, 在温室内按高度差布置 3 个测温点。时间每隔 1 h 测试 1 次数据, 取 4 次数据, 总的测试时间间隔为 3 h, 取 $\Delta\tau = 10\ 800\ \text{s}$ 。

3.2 温室平均热损系数 U_L 的计算公式 不考虑温室贮热和植被的影响时, 将热水视为热源, 只要温室内外存在温差, 则由热水提供的热量等于温室向外界环境的散热损失。于是有

$$U_L = \frac{MC_p(t_{w1} - t_{w4})}{A(t_g - t_a)\Delta\tau}$$

其中: $t_g = \frac{t_{g1} + t_{g2} + t_{g3} + t_{g4}}{4}$; $t_a = \frac{t_{a1} + t_{a2} + t_{a3} + t_{a4}}{4}$ 。

式中: t_w ——热水水温, 取 4 台热水器水温的算术平均值; 下脚标 1、2、3 和 4 分别代表总的测试时间内的各次数据点。

3.3 测试结果 在种植温室靠近中央一侧布置 4 台, 每台日产热水 133 kg 的长方体形状的全方位立体面透光太阳能热水器(占地 $0.73\ \text{m}^2$), 侧面和顶部为 10 mm 玻璃, 测试时间为昆明 4~5 月, 风速 $< 4\ \text{m/s}$ 。温室地面面积 $45.09\ \text{m}^2$, 屋顶倾角为 25° , 于是 $A = 49.75\ \text{m}^2$ 。温室内无土壤, 南侧为未做蓄热处理的砖墙。水的定压比容热取 $C_p = 4\ 180\ \text{J}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$, 进行计算。

表 1 平均热损系数测试结果

| 时间 时:分 | 室内测试点温度// $^{\circ}\text{C}$ | | | | 环境温度 $^{\circ}\text{C}$ | 风速 m/s |
|---|------------------------------|------|---|------|----------------------------|--------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 平均值 | | |
| 20:30 | 24.0 | 23.5 | 23.1 | 23.5 | 20.5 | < 4 |
| 21:30 | 23.5 | 23.0 | 22.8 | 23.1 | 20.0 | < 4 |
| 22:30 | 22.5 | 22.5 | 22.0 | 22.3 | 19.5 | < 4 |
| 23:30 | 22.0 | 21.5 | 21.0 | 21.5 | 18.6 | < 4 |
| 平均水温: $t_{w1} = 37.7\ ^{\circ}\text{C}$ | | | 平均水温: $t_{w4} = 34.0\ ^{\circ}\text{C}$ | | | |
| 平均室温: $t_g = 22.6\ ^{\circ}\text{C}$ | | | 平均环境温度: $t_a = 19.7\ ^{\circ}\text{C}$ | | | |
| 平均热损系数: $U_L = 5.3\ \text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ | | | | | | |

(上接第 4637 页)

体之一, 让更多的农民了解政府的土地流转政策, 让农民更好地理解政策内容, 是农村土地流转发展的必经之路。

3.2 政策因素 政府是土地流转政策的制定者和农民利益的维护者, 关系到农村经济的发展。因此, 政府应转变自身职能, 努力改善自身服务。政府应加强土地流转政策信息宣传和监管, 完善土地流转市场组织, 规范土地流转合同, 杜绝土地流转侵权行为。对于土地流入方, 政府应提供相关补贴、技术支持、政策优惠和农业经营培训; 对于土地转出方, 政府应依法给予补偿、住房安置, 推动农民就业和健全农民社会保障体系, 推动土地流转依法、平等、有序进行。

4 结论与讨论

(1) 太阳能热水调温属于中低温加热, 与外界环境温差小, 对一定温室而言, 热损失小, 所以用太阳能替代常规能源为温室调温, 经济、社会、生态效益显著, 比欧洲国家直接使用透明水袋增温具有更好的加热效果。采用的热水器具有热效率高、散热快的特点, 适合温室调温, 可使温室内白天的高温推迟 2~3 h, 室内最高气温降低 2~3 $^{\circ}\text{C}$, 夜间增温 3~7 $^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 测试中, 综合考虑温室整体的热平衡, 不分别讨论温室内空气的热平衡、温室顶部及侧面结构的热平衡和地表土壤或南墙的热平衡, 而是集总温室内外诸多影响因素, 将温室夜间的能量平衡简化为热源放出的热量等于温室向外界散发的热量损失, 从而计算出温室的平均热损系数, 对温室热损系数的测定具有一定的参考意义和实用价值。

(3) 由于温室侧面部分为砖墙围护、部分为玻璃铝合金围护, 屋顶为玻璃铝合金围护, 地面为现浇钢筋混凝土结构, 南墙为砖墙, 分别考虑每一种结构的热损, 应用热网络叠加有一定难度, 同时各种结构热量传递可能存在耦合, 合理性也存在质疑。当然, 运用理论计算与试验测试进行对比验证, 可以进一步考察测试和计算的合理性或正确与否, 有待于进一步分析与研究。

参考文献

- [1] SANTAMORUIS M, BALARAS C A, DASCALAKI E, et al. Passive solar agricultural greenhouses: a world classification and evaluation of technologies and systems used for heating purposes[J]. Solar Energy, 1994, 53(5): 411-426.
- [2] 吕恩荣, 涂济民, 何浩仁, 等. 太阳能——光热转换及利用[M]. 昆明: 云南人民出版社, 1984: 68.
- [3] SANTAMOURIS M, ARGIROU A, VALINDRAS M. Design and operation of a low energy consumption Passive solar agricultural greenhouses[J]. Solar Energy, 1994, 52(5): 371-378.
- [4] 刘群生, 王廷汉. 全方位立体面透光太阳能热水器: 中国, ZL 93212192. 6[P]. 1993.
- [5] 王春彦. 玻璃温室新型太阳能集热调温系统的实验研究[D]. 昆明: 云南师范大学, 1999: 10-11.
- [6] AL-JAMAL K. Greenhouse cooling in hot countries[J]. Energy, 1994, 19(11): 1187-1192.
- [7] 杨纯, 葛新石, 程霞霞. 温棚系统中传热问题的理论与实验研究[J]. 太阳能学报, 1994, 15(1): 25-35.
- [8] 李申生. 太阳能热利用导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 1989: 58-71.
- [9] 北京太阳能研究所. GB/T 12915—91, 家用太阳能热水器热性能试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1991.

参考文献

- [1] 关谷俊. 日本的农地制度[M]. 金洪云, 译. 北京: 三联书店, 2004.
- [2] THOMSONA D N, LYNEA M C. Constraints to land rental in KwaZulu: Analysing the transaction costs[J]. Farm Economist, 1993, 21(2): 143.
- [3] NEEDHAM B, DE KAM G. Understanding How Land is Exchanged: Co-ordination Mechanisms and Transaction Costs[J]. Urban Studies, 2012, 49: 705-720.
- [4] 刘向南, 吴群. 农村承包地流转: 动力机制与制度安排[J]. 中国土地科学, 2010(6): 4-8.
- [5] 曾超群, 曾福生. 土地流转的动力机制及模式分析[J]. 经济管理, 2010(2): 22-25.
- [6] 杨昊. 农村土地流转驱动因素与制约因素分析及其建议[J]. 研究报告, 2009(10): 36-37.
- [7] 郭嘉, 吕世辰. 土地流转影响因素实证研究[J]. 经济问题, 2010(6): 56-59.