

全玻璃真空管式太阳热水器 水量配比 MAR 的优化分析

宋爱国

(首都师范大学学报编辑部, 北京, 100037)

[摘要] 以全玻璃真空管式太阳热水器为例, 讨论了水量配比 MAR 对日平均效率及贮水温度的影响, 提出了在日平均效率下限值和贮水温度下限值的条件下对 MAR 进行优化的方法。

[关键词] 全玻璃真空管式太阳热水器; 水量配比; 日平均效率; 贮水终止温度

[中图分类号] TK515; [文献标识码] B; [文章编号] 1008-1925(2001) 03-0052-04

0 引言

近年来, 有些太阳热水器生产厂家为了迎合用户的水箱贮水温度越高越好的心理, 在设计中减小水箱贮水容量, 从而提高贮水水温。另外, 也有些理论工作者提出了这样一种观点: 为了满足用户对太阳热水器贮水温度的关心, 用贮水终止温度作为热性能的一个指标^[1]。笔者认为, 日平均效率是太阳热水器的一个重要指标, 以上两种只重视贮水温度而忽视日平均效率的做法是缺少科学根据的, 是不完全的。日平均效率的定义式为^[2]

$$\eta_d = \frac{Mc_p(t_e - t_s)}{AH} \quad (1)$$

式中: M 为水箱贮水质量; c_p 为水的定压比热容; t_e 为贮水终止温度, t_s 是贮水初始温度; A 为采光面积; H 为采光面接收到的日曝辐量。(1)式是一日内水箱贮水内能的增量与采光面接收到的太阳光能之比。 η_d 越大, 说明所采集到的太阳能转换为水箱贮水内能的比例越大。因此, 在成本基本保持不变且一定接收能量的前提下, 尽可能地提高日平均效率, 应该是太阳热水器研究者为之努力的目标。在影响 η_d 的诸多因素中, 贮水水量配比(贮水水量与采光面面积之比, mass area ratio 后简称 MAR)的影响是一个厂家比较关心的问题。本文以全玻璃真空管式太阳热水器为对象, 主要探讨 MAR 对日平均效率的影响。

1 理论计算模型

MAR 对 η_d 影响的计算模型中包含了一些子模型, 如晴天太阳辐射模型, 阳光采集模型, 环境温度模型以及贮水温度的温升模型等等。这些模型因所占的篇幅较大, 在此只给出最后的温升公式(详细内容请参阅有关文章^[3])。

以北京地区一台全玻璃真空管式太阳热水器为例, 热水器的基本参数为: 水箱容水量 $M = 80.00\text{kg}$; 热水器安装倾角 $\theta = 40^\circ$ (朝向正南); 纬度 $\phi = 39.8^\circ$ (北京地区); 热损系数 $U_1 = 0.90$

收稿日期: 2001-01-17

作者简介: 宋爱国, 1953—, 硕士, 首都师范大学副教授, 研究方向为太阳能热水器热性能的理论分析及其检测评估。

$W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$; 初始水温 $t_s = 16\ ^\circ C$; 采光面积 $A = 1.000 m^2$; 内管外径 $\phi_1 = 37 mm$; 管间距 $d = 75 mm$; 玻璃管透过率 $\tau = 0.88$; 选择性吸收涂层的吸收率 $\alpha = 0.92$; 玻璃真空管根数为 12 根。

水箱贮水温度(视水箱内的水温分布均匀)的温升公式为

$$\Delta t_m = [\Delta E - Nmc_p \Delta t_m - U_l A_1 \Delta t(t_m - t_a)] / (Mc_p) \quad (2)$$

式中: t_m 为 t 时刻的贮水温度; Δt_m 是贮水温度在 Δt 时间内的温升; $\Delta t'_m$ 为上一时刻的 Δt_m 值; ΔE 为热水器采光面在 Δt 时间内采集到的太阳光能; t_a 是环境温度。

从(1)式表面上看, 似乎 η_d 与 MAR(即 M/A) 成正比例, 实际上 η_d 是 MAR 的隐含数。按照(1)式和(2)式间的关系, 有

$$t_e - t_s = \sum [\Delta E - Nmc_p \Delta t'_m - U_l A_1 \Delta t(t_m - t_a)] / Mc_p \quad (3)$$

因此, (1) 式可写成

$$\eta_d = \sum [\Delta E - Nmc_p \Delta t'_m - U_l A_1 \Delta t(t_m - t_a)] / AH \quad (4)$$

(4) 式中没有明显的 M/A , 因此, η_d —MAR 关系曲线不能以一个显函数的形式表示出来, 而只能通过(1)式计算出各 MAR 下的 η_d 值, 然后作出 η_d —MAR 分布图。

2 计算结果与分析

2.1 MAR 对日平均效率的影响

考虑到真空管式太阳热水器全年运行以及日平均效率随年序日(从 1 月 1 日开始算起的日子)会有一定波动的特点, 计算了全年 4 个典型日(春分、夏至、秋分、冬至)时各 MAR 值下的 η_d 。计算时, MAR 在 $20 kg/m^2 \sim 150 kg/m^2$ 间取值, 间隔为 $10 kg/m^2$; 采光面积在 $1.000 m^2 \sim 2.000 m^2$ 间取值, 因为在保持管间距为管径 2 倍以及管长不变的前提下, 面积增加, 就意味着增加管的根数, 因此, 管子根数在 12 只~ 24 只间取值, 间隔为 2 只。由此, 对每一日的计算, 可以得出 77 组 η_d 和 MAR 数据, 可以使 MAR 在一个较宽的范围(约 20~ 150)内取值。

图 1 给出了 4 个典型日下 η_d —MAR 的分布图。可以看出, 随着 MAR 的增加, 开始时, η_d 增长得较明显, 到了后半段, η_d 基本走平, 说明此时再想通过增大 MAR 来增加 η_d 已经收效甚微。另外, 由于图中春分、夏至、秋分的三条分布曲线相互靠得较近, 因此说, 在春、夏、秋三季, 对同一 MAR 值, η_d 值变化不大。而冬至日的分布线较低主要是由于冬季环境温度过低导致热损过大而形成的。尽管如此, 它与前三条分布曲线的变化趋势, 甚至变化速率上都是很接近的。

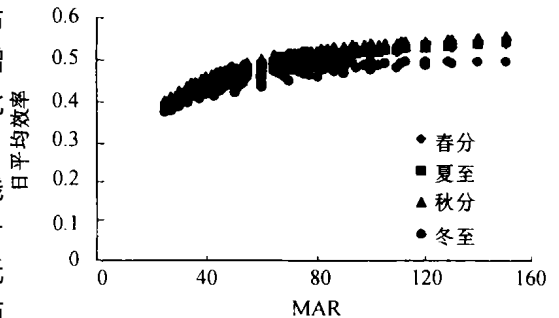


图 1 4 日平均效率—MAR 分布图

2.2 MAR 对贮水终止温度的影响

当减小水箱的容量(采光面积不变)后, 水箱的贮水终止温度 t_e 会提高, 这是一个很容易理解的现象。那么, t_e 与 M 到底存在什么样的关系呢? 通过计算, 得到了在 4 个典型日下 t_e 与 MAR 的关系, 如图 2 所示。可以看出, 随着 MAR 的增加, 开始时 t_e 下降得较快, 后半段时 t_e 下降的速率有所减缓(但并不像图 1 那样走平)。冬至日时的分布曲线仍低于另三条线, 仍是环境温度过低所致。

2.3 MAR 的优化分析

图 2 确实说明了在采光面积不变的条件下,减小 M 可以提高贮水终止温度,甚至在某些区间内会显著地提高 t_e . 但通过减小 M 一味地提高 t_e 的做法并不是科学的做法. 因为当 MAR 减小,使得 t_e 提高的同时, η_d 却下降了,当日平均效率过低时,将不能通过质量检验标准. 当然,那种为了追求高效率,而一味提高 MAR 的做法也是不科学的. 因为在加大 MAR 从而使 η_d 增加的同时,贮水终止温度却下降了,当贮水终止温度过低时,则无法为用户提供用户满意的热热水. 因此,为了防止以上两种极端的做法,就要找出较为合适的 MAR,即要对 MAR 进行优化.

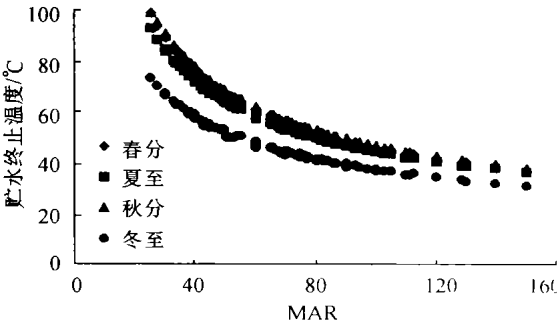


图 2 4 日贮水终止温度—MAR 分布图

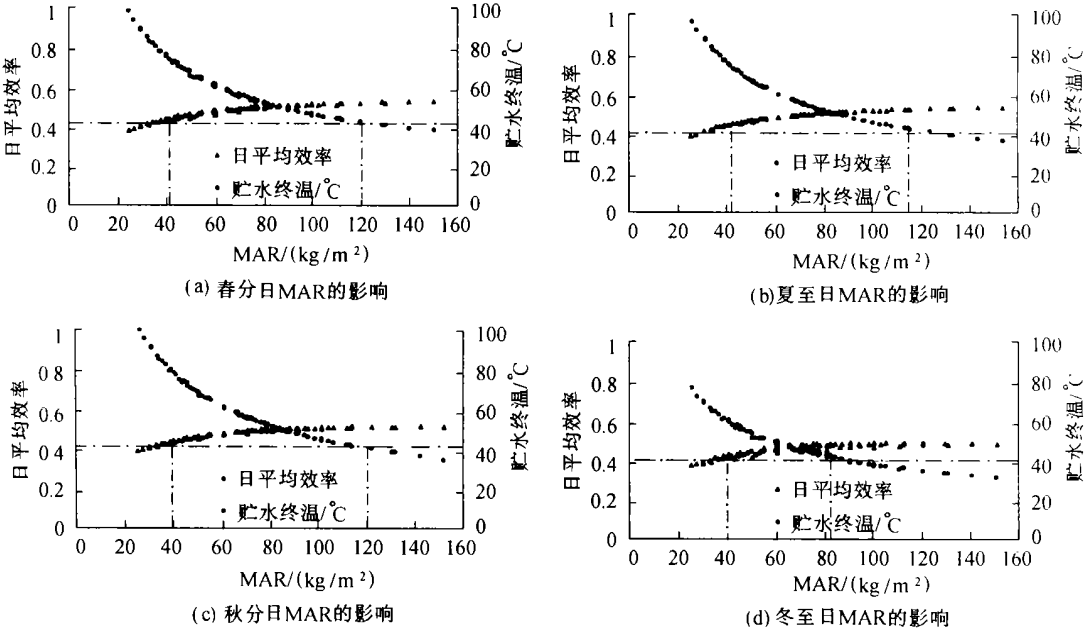


图3 MAR 的优化

要对 MAR 进行优化,必需预先给出 η_d 和 t_e 的下限值. η_d 的下限值应该以国标为准,但是目前国标中没有明确给出全玻璃真空管式太阳热水器日平均效率的最低标准,目前只有一个中国农村能源行业标准^[4],而这个标准也只给了管板式太阳热水器日平均效率的下限值($\eta_d \geq 0.45$). 考虑到全玻璃真空管式太阳热水器的 η_d 要小于管板式太阳热水器的 η_d . 因此,我们在近三年的太阳热水器热性能的检测中,将真空管式太阳热水器日平均效率的下限值定为 $\eta_d \geq 0.42$. 至于贮水终止温度 t_e ,目前没有统一的下限标准. 从优化使用的角度上看, t_e 取值在 $40^\circ\text{C} \sim 45^\circ\text{C}$ 是适宜的. 本文暂用 $t_e \geq 42^\circ\text{C}$. 图 3 给出了春分、夏至、秋分、冬至 4 日中 η_d 和 t_e 随 MAR 的分布图,由此可以详细讨论 MAR 的优化问题.

由于优化条件是 $\eta_d \geq 0.42$ 和 $t_e \geq 42^\circ\text{C}$, 它们给出的都是一个区间,所以, MAR 的优化值也应该是一个区间. 令图 3 每个图中左边的竖虚线为通过 η_d 分布线上 $\eta_d = 0.42$ 的直线,该虚线

与横坐标轴交点的 MAR 坐标值即为 MAR 的下限值;同理,令右边的竖虚线为通过 t_e 分布线上 $t_e = 42^\circ\text{C}$ 的虚线,该直线与横轴交点的 MAR 坐标值即为 MAR 的上限值.由图可以看出,对北京地区的这台全玻璃真空管式太阳热水器,各典型日 MAR 的取值范围是:春分日, $40 \leq \text{MAR} \leq 120$;夏至, $40 \leq \text{MAR} \leq 110$;秋分 $38 \leq \text{MAR} \leq 120$;冬至, $40 \leq \text{MAR} \leq 84$.春夏秋三季, MAR 的取值范围相当接近,而冬季 MAR 的取值在较小的区间内,且范围也比较窄小.因此,若全年运行的话,考虑到春夏秋三季是使用高峰期,故 MAR 取 80 左右较为合适.

3 结论

(1)随着 MAR 的增大,日平均效率亦增大,而贮水终止温度则减小.因此,一味地通过增大或减小 MAR 而使日平均效率增大或使贮水终止温度增大的做法是不科学的.

(2)依据日平均效率和贮水终止温度的下限值,通过 η_d —MAR 分布图和 t_e —MAR 分布图,可以求出任一时间段(季节)MAR 的取值范围,从而为太阳热水器水箱容量的设计提供参考.

本文的计算分析虽然以一台具体的全玻璃真空管式太阳热水器为例进行的,但所用的方法对任意地点、任意型号的太阳热水器均适用.

[参考文献]

- [1] 王志峰.家用太阳热水器热性能试验方法及标准探讨[J].太阳能学报, 2000, 21(3): 248~252
- [2] 国家技术监督局.家用太阳热水器热性能试验方法[S].北京:中国标准出版社, 1991
- [3] 宋爱国.全玻璃真空管式太阳热水器热性能研究(一)——计算模型与计算结果[J].首都师范大学学报, 2001, 22(1): 55~61
- [4] 中国农村能源行业协会.家用太阳热水器产品技术条件[S].北京: 1998

Analysis on the optimum mass area ratio(MAR) of all-glass evacuated tubular solar water heaters

Song Aiguo

(Editorial Board of Journal of Capital Normal University, Beijing, 100037, PRC)

Abstract: The effect of mass area ratio(MAR) of all-glass evacuated tubular solar water heaters is discussed on the average daily efficiency and closing temperature of water. The optimization of MAR is suggested under the condition of the minimum of average daily efficiency and closing temperature of water.

Key words: all-glass evacuated tubular solar water heaters, mass area ratio, average daily efficiency, closing temperature of water

(责任编辑:严海琳)