太阳能热水器资料汇编

新疆维吾尔自治区科学技术情报研究所
新疆科学技术委员会太阳能研究所

一九八〇年

目录

90米^{2}管板式太阳能热水器

浙江大学热工教研室

热水器单体结构与系统布置

（一）热水器单体结构

本管板式热水器单体集热器外形尺寸为2740×900×140，由木质箱框和吸热体两个主要部件组成(图1)。吸热板由0.5毫米厚的镀锌铁皮制成，上嵌以$\frac{3}{4}$″镀锌铁管8根，用铁丝扎结使管板紧贴联接。管板向阳面涂以普通无光黑板漆。箱框上方盖以双层3毫米厚普通玻璃(下层玻璃对接，上层玻璃搭接，与箱框连接处垫有毛毡)，以防漏气。底部垫以50毫米厚的聚苯乙稀泡沫塑料保温层，保温层下面垫一块油毡，箱底是1毫米厚铁片。

集热器透光面积2.235（米^2）

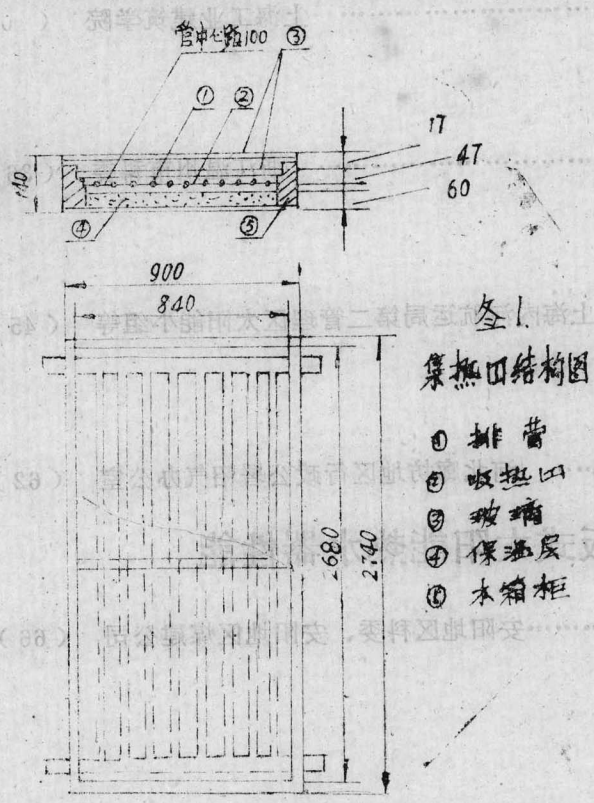

图1 集热凹结构图

（二）热水器水箱和管路系统布置

太阳能热水器由40个单体集热器、循环管路和循环水箱、蓄水箱组成。集热器每三个一组并联，采用'不同程'管路布置（见图2）。为避免循环产生"热短路"使部分水管热水不畅

通，热量输送不出来，我们采取放大上升循环管直径，适当提高循环水箱高度以增加压差减少热阻，同时循环水箱设置在左右的大组集热器中间等措施。循环水箱容积3米^3，贮水2.93吨，水箱及所有热水管均用45毫米厚的聚苯乙稀泡沫塑料保温。集热的面南偏西15°，考虑到冬季能够使用倾角采取35°角（比杭州当地纬度增加5°）。

贮水箱贮水量12吨，其热水输送管路分两路，一路送浴室，一路送锅炉房。在春秋二季多用于洗澡，夏冬季则送锅炉进一步加热成开水。

热水器的性能估算

为做到心中有数，检验理论与实际附合的程度，我们对本热水器作了理论上的性能估算，现概述如下：

（一）估算的理论基础

对于集热器单位面积上的能量平衡方程式是：

短期或瞬时的有 $I\theta(\tau\alpha)=qu+q_L+qs$ （1）

长期平均的有 $H\theta(\tau\alpha)=qu+q_L+qs$ （2）

式中：

$I\theta$为集热器单位面积上小时日照量（大卡/米^2 时）

$H\theta$为集热器单位面积上长期平均小时日照量，（大卡/米^{2}时）

τ为集热器玻璃盖板对阳光的透过率

α为集热器吸热板对阳光的入射辐射的吸收率。

（$\tau\alpha$）为集热器的透过——吸收率乘积。

qu为工作价值通过集热器获得的有效热量，简称有效得热，（大卡/米^{2}时）

q_L是从单位面积积热器上传递到周围环境的热损失，（大卡/米^{2}时）

qs为单位面积集热器中蓄存的热量（在稳定状态下可忽略）。可知，太阳能集热器所收集到的太阳能量转化为三部分、即有效得热qu、加热流过集热的水、热损失q_L和热水器系统的蓄热量qs。

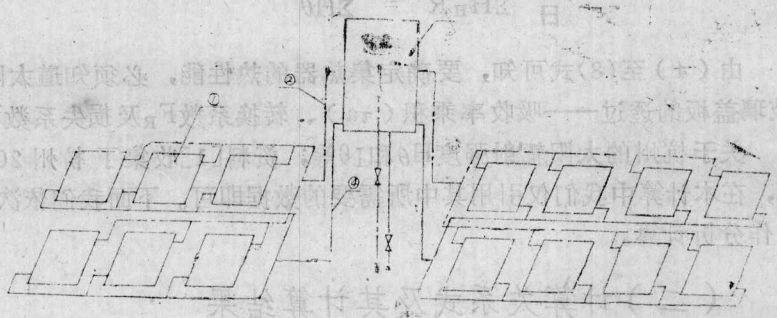

图2 太阳能热水器系统布置示意图

① 集热器组（每组四只集热器并联四组串联）

② 热水管路

③ 循环水箱

④ 冷水管路

由式（2）得

$$qu = H\theta(\tau\alpha) - q_L - qs$$

设 $qs = o$（在稳定工况下），又 $PL = U_L(Tp - Ta)$，$H\theta = H_H R$ 则上式变为

$$qu = H_H R(\tau\alpha) - U_L(Tp - Ta) \quad (3)$$

这里的 H_H = 入射在水平的单位面积上的太阳总辐射量，（大卡/米^{2}时）

R = 由水平面换到集热器倾斜表面上的辐射转换系数

U_L = 从单位面积的集热器吸热板到周围环境的总传热损失系数（大卡/米^2 时 ℃）

Tp = 平均吸热板温度（℃）

Ta = 环境温度（℃）

(3)式中的平均板温 T_P 如以较易确定的集热器进口流体温度 Tfi 来代替，则需引入一个转换系数 F_R，最后集热器单位面积的有效得热就有如下形式

短期或瞬时的：$qu = F_R[I\theta(\tau\alpha) - U_L(Tfi - Ta)]$ (4)

长期平均的：$qu = F_R[H_H R(\tau\alpha) - U_L(Tfi - Ta)]$ (4′)

度量集热器的性能参数是集热效率，其定义是在任一时间间隔内的有用得热与在同一时间间隔内入射的太阳辐射能量之比，即 $\eta = \int qu d\tau / \int H_H R d\tau$ (5)

在稳定工况下，集热器的小时热效率（即瞬时热效率）为

$$\eta = \frac{qu}{I\theta} \quad (6)$$

月平均小时热效率为

$$\bar{\eta}_{小时} = \frac{qu}{H_H R} = \frac{qu}{H\theta} \quad (7)$$

月平均总效率（即月平均日效率）为

$$\bar{\eta}_{日} = \frac{\Sigma qu}{\Sigma H_H R} = \frac{\Sigma qu}{\Sigma H\theta} \quad (8)$$

由（4）至(8)式可知，要确定集热器的热性能，必须知道太阳辐射强度 $H\theta$（或 $I\theta$）、玻璃盖板的透过——吸收率乘积（τa）、转换系数 F_R 及损失系数 U_L。

关于杭州的太阳辐射强度 $H\theta$ 和 $I\theta$ 等，资料[1]收集了杭州 20 年的气象资料作了分析计算，在本计算中我们仅引用其中所需要的数据即可。下面我们依次对（$\tau\alpha$）、F_R、U_L、qu、η 作分析计算。

（二）计算关系式及其计算结果

I、玻璃盖板的透过——吸收率乘积（$\tau\alpha$）

（1）根据下式计算太阳入射角：

$$\cos i = \sin\delta \sin\psi + \cos\delta \cos\psi \cos\omega \quad (9)$$

式中：　δ——赤纬角

ψ——纬度

ω ——时角

（2）计算玻璃表面的阳光反射率：

先求出阳光在玻璃层内的折射角

$$i_2 = \sin^{-1}\left(\frac{\sin i_1}{1.526}\right) \tag{10}$$

式中：i_1——入射角

i_2——折射角

在太阳光谱范围内取玻璃的折射系数等于1.526再由下式求出反射率

$$n = \frac{1}{2}\left[\frac{\sin^2(i_2 - i_1)}{\sin^2(i_2 + i_1)} + \frac{\tan^2(i_2 - i_1)}{\tan^2(i_2 + i_1)}\right] \tag{11}$$

（3）计算射线通过玻璃层由于吸收的通过率：

$$\tau\alpha = e^{-KL} \tag{12}$$

式中：K——消光系数，对于窗玻璃我们取K = 0.2/厘米。

L——光线通过玻璃层的路程长度，它与入射角的关系是：

$$L = \frac{d}{\cos i}$$ 这里d——玻璃厚度。

（4）射线通过玻璃层考虑其对光线的反射和吸收两方面影响的透过率：

通过一层玻璃的反射率：

$$n^{(1)} = n + \frac{n(1-n)^2\tau\alpha^2}{1-n^2\tau\alpha^2} \tag{13}$$

通过一层玻璃的透射率：

$$\tau^{(1)} = \frac{(1-n)^2\tau a}{1-n^2\tau a^2} \tag{14}$$

通过两层玻璃的透过率：

$$\tau^{(2)} = \frac{\tau^{(1)}\cdot\tau^{(1)}}{1-n^{(1)}n^{(1)}} \tag{15}$$

（5）根据无光黑漆涂层表面对阳光法向入射的吸入率一般是（$\alpha n = 0.96$）再由有关图表查出不同入射角下的$\alpha/\alpha n$值，从而得出不同入射角下的吸入率α。我们选用资料[3]对灯黑漆推荐的数据（见附表）。

（6）计算透过——吸收率乘积（$\tau\alpha$）

$$(\tau\alpha) = \frac{\tau\cdot\alpha}{1-(1-\alpha)n_d} \tag{16}$$

式中n_d——玻璃盖的散射反射率，对二层玻璃，取$n_d = 0.24$

（7）由于直射日照、散射日照和反射日照的（$\tau\alpha$）各不相同，所以板集热器的透过——吸收率乘积（$\tau\alpha$）应是上述各部分日照的平均值。

对于短期的或瞬时的日照有：

$$(\tau\alpha) = \frac{I_D\theta}{I\theta}(\tau\theta)_D + \frac{I_d\theta}{I\theta}(\tau\alpha)_d + \frac{I_R\theta}{I\theta}(\tau\alpha)_R \qquad (17)$$

式中：$I_D\theta$、$I_d\theta$、$I_R\theta$，分别为倾斜集热器面上的小时直射辐射、小时散射辐射和小时反射辐射量。

$(\tau a)_D$、$(\tau\alpha)_d$、$(\tau\alpha)_R$ 分别为直射透过——吸收率乘积，散射透过——吸收率乘积和反射——吸收率乘积。

可认为：$(\tau\alpha)_D = (\tau\alpha)_R$，它们可根据入射角为60°情况时求出。

如求长期的月平均小时的透过——吸收率乘积则由下式求出：

$$\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)n} = (1 - \frac{H_{dH}}{H_H})\frac{R_D}{R}\cdot\frac{(\tau\alpha)_D}{(\tau\alpha)n} + \frac{H_{dH}}{H_H}\cdot\frac{1}{R}\cdot\frac{1+\cos\theta}{2}\cdot\frac{(\tau\alpha)_d}{(\tau\alpha)n} + n_G\frac{1}{R}\cdot\frac{1-\cos\theta}{2}\cdot\frac{(\tau\alpha)_R}{(\tau\alpha)n} \qquad (18)$$

式中：n_G——地物反射率，无雪时取$n_G = 0.2$

$(\tau\alpha)n$——法向透过——吸收率乘积

$\frac{H_{dH}}{H_H}$——月平均小时散射量与水平面小时辐射量之比值

R_D——每小时的直射辐射的斜面转化系数

R——每小时的水平面总辐射的斜面转化系数

θ——倾斜面角

Ⅰ、转换系数F_R和损失系数U_L

(1)转换系数F_R：

集热器热性能转换系数F_R是集热器实际所获得的有效热量qu与假设集热器的吸热板温度等于流体入口温度时所收集的热量之比值。它的关系式如下：

$$F_R = \frac{GC_p}{U_L}\left[1 - e^{-\left(\frac{U_LF'}{GC_p}\right)}\right] \qquad (19)$$

为便于手算，上式可改写成如下形式

$$F_R/F' = \frac{GC_p}{U_LF'}\left[1 - e^{-\left(\frac{U_LF'}{GC_p}\right)}\right] \qquad (20)$$

式中：G＝单位积热面积的重量流率，（公斤/米²时），

C_p＝流体的比热，（大卡/公斤℃）

这里F′是集热器效率因子，它是流体到环境的传热阻与吸热板到环境的传热热阻之比值。具有下式：

$$F' = \frac{1/U_L}{w\left[\frac{1}{U_L[D+(W-D)F]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi Di\,hfi}\right]} \qquad (21)$$

式中：w、D、Di 分别为集热器排管之间的中心距、外径和内径，单位（米）。hfi是流体和管壁间的放热系数（大卡/米^2 时 ℃）。$\frac{1}{C_b}$是管板之间的接触热阻，（大卡/米 时 ℃）如管板扎结，C_b= 1.5～7.5（大卡/米 时 ℃），F是典型矩形直肋的肋效率、

$$F = \frac{\tanh m(w-D)/2}{m(w-D)/2}$$

$$m = \left(\frac{U_L}{K\delta}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (22)$$

这里的K＝集热板的导热系数，（大卡/米 时 ℃）

δ＝板的厚度（米）

由上列关系可看出集热器的转换系数F_R主要是流体的流量和集热器结构参数的函数。

(2)集热器总传热的损失系数U_L：

关于集热器总的传热损失系数U_L是集热器的底部损失系数U_b和顶部损失系数Ut之和。即 $U_L = U_b + Ut$

底部损失系数近似地等于底部保温层的热阻的倒数，即

$$U_b = 1\Big/\frac{L}{R} = \frac{R}{L} \qquad (23)$$

式中： R＝底部保温层的导热系数，（大卡/米 时 ℃）

L＝保温层的厚度，（米）

顶部损失系数是各层平行平板之间的热对流和热辐射方式的综合。计算顶部损失系数Ut的精确方程十分复杂凡繁，具有双层玻璃顶盖的集热器尤为如此。为简便计算，我们采用了《太阳能热过程》[2]一书中推荐的K/ein提出的经验公式，在板温40～130℃范围内，用此式计算与用精确的关系式计算偏差在±0.17（大卡/米^2 时 ℃）以内。K/ein 介绍的经验公式是

$$\frac{Ut(S)}{U(45)} = 1-(S-45)(0.00259-0.00144\varepsilon_p) \qquad (24)$$

式中： S是集热器的倾角，用度表示。

ε_p 是集热板的发射率。

Ut(S)为任忌倾角下的顶部损失系数。

U(45)为倾角45°下的顶部损失系数。

45°倾角的顶部损失系数经验公式是：

$$U(45)=\left[\frac{N}{(344/Tp)[(Tp-Ta)/(N+F)]^{0.31}}+\frac{1}{hw}\right]^{-1}$$

$$+\frac{\sigma(Tp+Ta)(Tp^2+Ta^2)}{[\varepsilon p+0.0425N(1-\varepsilon p)]^{-1}+[\frac{(2N+f-1)}{\varepsilon g}]-N} \qquad (25)$$

式中：σ = 绝对黑体辐射常数，$\sigma=4.96\times10^{-8}$（大卡/米^2 时 °K^4）

N = 玻璃层数，

Tp = 集热器板温（°K）

Ta = 环境温度，（°K）

εg = 玻璃的发射率，

hw = 由风速引起的对流传热系数（大卡/米^2 时 ℃）

$hw=4.9+3.3V$（大卡/米^2 时 ℃）这里 V = 风速（米/秒）

$f=(1-0.04hw+5\times10^{-4}h^2w)(1+0.58N)$

公式（23）和（24）即便于手算，也便于计算机计算。

应用上述经验公式或是复杂的精确公式计算Ut，都需要知平均板温 Tp。

(3)平均板温Tp的推算。

可根据下列二式来推算平均板温：

$$T_f=T_{fi}+\frac{Qu/A}{U_LF_R}\left[1-\frac{F_R}{F'}\right] \qquad (26)$$

$$Tp-T_f=Qu(Rp-f) \qquad (27)$$

式中：T_f = 流体的平均温度，（℃）

T_{fi} = 流体的进口温度，（℃）

Rp-f = 管和流体之间的传热热阻 $Rp-f=\frac{1}{hfi\pi n\ LD}$

这里的n和L分别是管子数和管子的长度，（米）。

$Qu=quAc$，（大卡）

Ac = 集热器有效透光面积，（米^2）

可根据方程（27）和(26)用迭代法来求解方程（25）。其迭代法步骤是先估计一个平均极温来求算U_L，再根据Qu，F_R，F′的近似值。利用式（27）和（26）得到一个新的平均板温，然后用这新的平均板温用来求取新的顶部损失系数，得出新的U_L值，再用新的U_L来修整F_R、F′，重复上述过程。如果作出合理的初始假设，这种繁复的迭代过程可以大大简化。

通过上述求算得到（$\tau\alpha$），F_R，U，后，就可根据式（4）或(4)、求出有效得热 qu，最后代入（5）～（8）式求出集热器的热效率 η。

(三)结果计算

我们选择了杭州三月、五月、七月三个月份的气侯条件作计算对象。因杭州的三月份气

温和太阳辐射量较低，五月份中等，七月份气温和太阳辐射强度较高，颇具代表性。计算结集于表1至表6。

在作上述性能估计时，我们取用了下列参数和假设：

平均气温，三月Ta＝13℃，五月23.5℃，七月34℃；平均日来水温，三月15℃，五月24℃，七月29℃；平均风速，2米/秒。集热器透光面积Ac＝2.239米^2；管间距w＝100毫米，管内径Di＝24毫米，外径Do＝26.75毫米；吸热板厚度δ＝0.5毫米；保温层厚度l＝50毫米；导热系数K＝0.03大卡/米 时 ℃。

假设冷水进水温度Tfi＝40℃；水流率，三月份G＝0.02公斤/米^{2}秒，五、七月G＝0.0_4公斤/米^{2}秒；吸热板发射系数p0＝0.95，玻璃板发射系数eg＝0.88，平均板温Tp＝50℃。

计算分二部分：（计算结果以表格形式给出）

第一部分是根据1977年三、五、七月份的最大太阳辐射量，计算相应月分的热水器最高日获热量及其效率（见表1至3）。

第二部分是根据杭州地区1968年至1977年十年的长期平均的三、五、七月的太阳辐射量，计算相应月份的热水器的平均日获热量及其效率（见表4至6）。

三月份最高日获热量及其效率

表 1

项目	符号	单位	时间 7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	总计	备注
环境温度	Ta	℃	9	10	11	12	13	13	15	15	15	15	15		平均 ta＝13℃
平均小时总幅射（倾斜面）	Iθ	大卡/米²时	68	212	380	528	575	659	575	528	380	212	68	4185	
$(\tau\alpha)$			0.6257	0.5972	0.6172	0.6318	0.6451	0.6542	0.6451	0.6318	0.6172	0.5972	0.6257		
集热器热损失系数	U_L	大卡/米²时℃	3.383												
$I\theta(\tau\alpha)$		大卡/米²时	42.55	126.6	234.5	333.6	370.9	431.1	370.9	333.6	234.5	126.6	42.55		
$U_L(Tfi-Ta)$		〃	104.9	101.5	98.1	94.7	91.3	91.3	84.6	84.6	84.6	84.6	84.6		
$I\theta(\tau\alpha)-U_L(Tfi-Ta)$		〃		25.1	136.4	238.9	279.6	339.8	286.3	249.0	149.9	42.0			
转换系数	F_R		0.846												
有效得热	qu	大卡/米²时		21.23	115.4	202.1	236.5	287.5	242.2	210.6	126.8	35.5		1478	
小时效率	η	%		10.0	30.4	38.3	41.1	43.6	42.1	39.9	33.4	16.7			
日效率	η日	%	35.3												
热水器总获热量	Qu	大卡	131542												杭州3月份自来水温15℃
热水器45℃热水产量	G	公斤	4385 （单位面积产量49公斤/米²）												

五月份最高日获热量及其效率　　表 2

项目	符号	单位	时间 7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	总计	备注
环境温度	Ta	℃	20	21	21	23	24	24	25	25	25	26	25		平均气温 23.5℃
平均小时总辐射（倾斜面）	Iθ	大卡/米²时	129.1	268	419	548	633	662	633	548	419	268	129	4,655	
$(\tau\alpha)$			0.520	0.548	0.636	0.691	0.710	0.719	0.710	0.691	0.636	0.548	0.520		
$I_\theta(\tau\alpha)$		大卡/米²时	67.13	146.9	266.5	378.7	449.4	476.0	449.4	378.7	266.5	146.9	67.13		
集热器热损失系数	U_L	大卡/米²时℃	3.346												
Tfi－Ta		℃	20	19	19	17	16	16	15	15	15	16	15		
U_L（Tfi－Ta）		大卡/米²时	66.92	63.57	63.57	66.88	63.54	63.54	50.19	50.19	50.19	63.54	50.19		
$I\theta(\tau\alpha)-U_L$（Tfi－Ta）		〃	0.21	83.33	202.9	311.8	385.9	412.5	399.2	328.5	216.3	83.36	16.94		
转换系数	F_R		0.9339												
有效得热	qu	大卡/米²时	0.196	77.82	189.5	291.2	360.4	385.2	372.8	306.8	202.0	77.85	15.82		
平均小时效率	η	%	0.2	29.0	45.2	53.1	56.9	58.2	58.9	56.0	48.2	29.0	12.3	2279	
日效率	η日	%	49												
热水器总获热	Qu	大卡	2028031												平均自来水温24℃
热水器45℃热水产量	G	公斤	9659　单位面积产量108公斤/米²												

七月份最高日获热量及其效率

表 3

项目	符号	单位	时间 7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	总计	备注
环境温度	Ta	℃	30	31	32	33	34	35	35	35	35	35	34		平均 ta=34℃
平均小时日照量（倾斜面）	Iθ	大卡/米²时	131	265	411	534	616	644	616	534	411	265	131	4558	
$(\tau\alpha)$			0.512	0.544	0.650	0.695	0.714	0.717	0.714	0.695	0.650	0.544	0.512		
集热器热损失系数	U_L	大卡/米²时℃	3.260												
$I\theta(\tau\alpha)$		大卡/米²时	67.07	144.2	267.2	371.1	439.8	461.7	439.8	371.1	267.2	144.2	67.01		
$U_L(Tfi-Ta)$		〃	32.6	29.34	26.08	22.82	19.56	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	19.56		
$I\theta(\tau\alpha)-U_L(\ -Ta)$		大卡/米²时	34.47	114.9	241.1	348.3	420.2	445.4	423.5	354.8	250.9	127.9	47.51		
转换系数	F_R		0.9496												
有效得热	qu	大卡/米²时	32.73	109.1	288.9	330.7	399.0	423.0	402.2	336.9	238.2	121.4	45.12	2667	
小时效率	η	%	25	41.2	55.7	61.9	64.8	65.7	65.3	63.1	58.0	45.8	34.4		
日效率	η日	%	58.5												杭州7月份自来水温 29℃
共得热	Qu	大卡	337363												
热水器45℃热水产量	G	公斤	14835 （单位面积产量167公斤/米²）												

三月份平均日获热量及效率

表 4

项目	符号	单位	时间 7	8	9	10	11	12	13	41	15	16	17	总计	备注
平均外气温	ta	℃	9	10	11	12	13	15	15	15	15	15	15		平均 ta = 13℃
倾斜面平均小时日照量	Hθ	大卡/米²时	56	135	217	285	344	402	344	285	217	135	56	2174	
透过吸收率乘积	$\tau\alpha$		0.4087	0.5009	0.5720	0.6004	0.6204	0.6325	0.6204	0.6004	0.5720	0.5009	0.1087		
集热器热损失系数	U_L	大卡/米²时℃	3.343												
Hθ ($\tau\alpha$)		大卡米²时	2289	67.62	124.1	171.1	213.4	254.3	213.4	171.6	124.1	67.62	22.89		
U_L (Tfi − Ta)		〃	103.6	100.0	96.9	93.6	90.3	83.6	83.6	83.6	83.6	83.6	83.6		
[θ ($\tau\alpha$) − U_L (Tfi − Ta)		〃			27.2	77.5	123.1	170.7	129.8	87.5	40.5				
转换系数	F_R		0.846												
有效得热	qu	大卡/米²时			23.0	65.6	104.1	144.4	109.8	74.0	34.3			555	
月平均小时效率	η时小	%			12.5	27.2	35.8	42.5	37.7	30.7	18.7				
月平均日效率	η日	%	22.4												杭州3月份平均自来水温15℃
热水器总获热量	Qu	大卡	49395												
热水器日产45℃热水量	G	公斤	1646												

五月份平均日获热量和效率

表 5

项目	符号	单位	时间 7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	总计	备注
环境温度	Ta	℃	20	21	22	23	24	24	25	25	25	25	24		平均 Ta=23.5℃
倾斜面上平均小时日照量	Hθ	大卡/米²时	60.7	153.6	252.7	336.5	407.1	471.7	407.1	336.5	252.7	153.6	60.7	2893	
透过—吸收率乘积	(τα)		0.431	0.472	0.547	0.579	0.598	0.612	0.598	0.579	0.547	0.472	0.431		
Hθ (τα)		〃	26.16	72.50	138.2	194.8	243.4	288.7	243.4	194.8	138.2	72.50	26.16		
集热器热损失系数	U_L	大卡/米²时℃	3.346												
U_L(Tfj-Ta)		大卡/米²时	66.92	63.57	60.23	56.88	53.54	53.54	50.19	50.19	50.19	50.19	53.54		
Hθ(τa)－U_L(Tfi－Ta)		〃		8.93	77.97	137.9	189.9	235.2	193.2	144.6	88.01	22.31			
转换系数	F_R		0.9339												
有效得热	qu	〃		8.34	72.82	128.8	177.3	219.6	180.4	135.0	82.19	20.84		1025	
月平均小时效率	$\overline{\eta}$	%		5.4	28.8	38.3	43.6	46.6	44.3	40.1	32.5	13.6			
月平均日效率	$\overline{\eta}_B$	%	35.4												
热水器总获热量	Qu	大卡	91225												
热水器日产45℃热水量	G	公斤	4344												平均自来水温34℃

表 6

七月份平均日获热量及效率

项目	符号	单位	时间 7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	总计	备注
环境温度	Ta	℃	30	31	32	33	34	35	35	35	35	35	34		平均 Ta=34℃
倾斜面平均小时日照量	Hθ	大卡/米²时	31	194	326	438	532	616	532	438	326	194	73	3740.5	
透过—吸收率乘积	(τα)		0.384	0.456	0.562	0.600	0.621	0.630	0.621	0.600	0.562	0.456	0.384		
集热器热损失系数	U_L	大卡/米²时℃	3.26												
Hθ(τα)		大卡/米²时	11.90	88.46	183.2	262.8	330.4	388.1	330.4	262.8	183.2	88.46	11.90		
U_L(Tfi-Ta)		〃	32.6	29.3	36.1	22.8	19.6	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	19.6		
Hθ(τα)-U_L(Tfi-Ta)		〃		59.16	147.0	240.0	310.8	371.8	314.1	246.5	166.9	72.16			
转换系数	F_R		0.6496												
有效得热	qu	大卡/米²时		56.18	139.6	227.9	295.1	353.1	298.3	234.1	159.7	68.52		1832.5	
平均小时效率	$\overline{\eta}$	%		29.0	42.8	52.0	55.5	57.3	56.1	53.4	47.1	35.3			
月平均总效率	η	%	46												杭州七月份平均自来水温29℃
热水器总获热	Q	大卡	163092												
热水器日产45℃热水量	G	公斤	10193 (单位面积产114公斤/米²)												

热水器系统性能实验

在一九七九年五月（为浙江杭州中等气候条件），自14日至21日选择了几个具有代表性的气象条件下的日期作了本热水器系统的运行实验，以考察其热性能。

实验所使用的测量仪表是，75—Ⅱ型累计式辐射计（天津红卫半导体器件厂出品），经与杭州市气象站的辐射计对比校核，累计值误差在2％左右。其接受辐射表头的表面与集热器的平面平行。热水流量用最小读数为0.1公斤的水表测量（实验前经容积法校核），热水温度用压力表式电触点温度计测定，前亦经实验室标准温度计校验。冷水（自来水）温度用1／10℃的水银温度计测知。

实验每天从7时至17时期间进行。每当循环水箱上的触点温度计达到45℃的指示时，就开启放水管道上的阀门将45℃的热水放去，然后进冷水。经一定的循环时间（这时间间隔随当天气候条件、时刻不同而有别），一般上午十时半至下午三时这期间要短得多，水温上升，到45℃时又行放水。定温放水的优点是产热水量大，系统的热效率高。放水温度一般定在40～45℃为宜，因为这个温度范围既适合洗澡（根据医疗卫生观点，水温在38°～40℃的为热水澡）又不致使吸收太阳辐射的表面温度超过50～60℃，造成系统热损失增加，降低热效率。

现举5月18日这天的实验为例，看热水器系统的性能情况。这天的气象条件是晴间少云，气温25℃，风速2.3米／秒，冷水温度为24℃。实验开始时循环水箱水温32℃，结束时水温43℃，一天累计太阳辐射量为598.5卡／厘米^2，期间共放水7次，它们的数据例于表1。

五月十八日热水器放水情况　　表7

放水时间	10：45	11：26	12：08	12：50	13：30	14：34	15：35
放水温度（℃）	45.5	45	45.5	46.5	46	46.5	45.5
放水量Gi（公斤）	1452	1133	1307	1332	1204	1381	1376
热冷水温差△ti（℃）	21.5	21	21.5	22.5	22	22.5	21.5

注：热水器透光面积将近90米^2，系统容水量4044公斤

（一）热水器产热量能力

一天放了七次热水，获热量为：

$$Q_1 = \sum_{i=1}^{>} G_i \Delta t_i = 228,690\text{大卡}$$

系统贮存的热量为：

$Q_2 = 4044(43-32) = 44484$大卡

热水器一天共获热量：