

GRLM

国家太阳能光热产业技术创新战略联盟标准

T/GRLM 12-2018

储热型太阳能蒸锅热性能测试方法

Test method for the thermal performance of thermal storage type
solar steam boiler

2018-05-11 发布

2018-10-11 实施

国家太阳能光热产业技术创新战略联盟 发布

目次

前言	I
1 范围	2
2 规范性引用文件	2
3 术语和定义	2
4 符号与单位	3
5 测试系统组成	5
6 仪器与测量	5
7 性能测试方法	7
9 测试报告	14
附录 A	15
附录 B	18

前 言

本标准按照 GB/T1.1-2009 给出的规则起草。

本标准由广东五星太阳能股份有限公司与中国科学院电工研究所提出。

本标准国家太阳能光热产业技术创新战略联盟归口。

本标准起草单位：广东五星太阳能股份有限公司、中国科学院电工研究所、上海交通大学。

本标准主要起草人：朱晓林、王志峰、原郭丰、徐立、唐文学、吴治永、杨铭、代彦军、李兴。

本标准为首次发布。

储热型太阳能蒸锅热性能测试方法

1 范围

本标准规定了适用于采用 CPC 集热器和水、蒸汽工质的储热型太阳能蒸锅热性能测试（以下简称太阳能蒸锅）方法、仪器、试验步骤、结果处理和测试报告格式。本标准适用于三个热性能测试内容，包括集热性能测试、储热器闪蒸测试及储热器热损系数测试。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 18708	家用太阳热水系统热性能试验方法
GB/T 17049	全玻璃真空太阳集热管
GB/T 12936	太阳能热利用术语
GRLM JC	中温太阳能热利用术语
GB/T 4271	太阳能集热器热性能试验方法
GRLM GY	非跟踪型太阳能中温集热器性能测试方法
SB/T10697	商用电汽两用蒸柜

3 术语和定义

GB/T 18708、GB/T 17049、GB/T 12936、GB/T 4271、GRLM JC、GRLM GY 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1 太阳能蒸锅 solar steam boiler

产生低压蒸汽（ $<0.02\text{MPa}$ ）用于炊事的太阳能锅炉

3.2 储热型水、蒸汽太阳能蒸锅 thermal storage type solar steam boiler based on the water and steam working medium

具备储热能力并以水、蒸汽为储热或传热工质的太阳能蒸锅。采用太阳能集热器产生饱和水，利用闪蒸直接产生蒸汽，属于太阳能直接蒸汽发生锅炉。

3.3 软化水 desalination water

碳酸镁和碳酸钙的含量为 0~60ppm 的水。

3.4 闪蒸 flash evaporation

高压的饱和液体进入低压的容器中或由于压力的突然降低使这些饱和液体变成一部分的容器压力下的饱和蒸汽和饱和液。

3.5 储热器 thermal energy storage unit

用于储存集热器产生的高温高压饱和水，并且可以使饱和水闪蒸产生低压饱和蒸汽输出的承压容器及其附件所组成的部件。

3.6 额定温度 rated temperature

蒸柜满足蒸饭要求的设定温度。

3.7 集热量 quantity of heat collection

在规定时间内，储热器内液体的得热量与储热器内产生的饱和蒸汽所需热量之和。

3.8 集热系统效率 thermal efficiency of solar collecting system

在规定时间内，集热量与集热器阵列采光面太阳入射能量的比值。

3.9 接受半角 half acceptance angle

在复合抛物面截面上，将复合抛物线中抛物线部分的焦点与复合抛物线端点连线，连线与复合抛物线对称轴的夹角为接受半角。

3.10 升温时间 temperature increase time

蒸柜自带电加热器未开启时，从压力控制阀开启输入蒸汽，至蒸柜内部达到额定温度的时间。

3.11 持续时间 duration time

储热器内的饱和水闪蒸产生低压蒸汽输入蒸柜，输入蒸汽使蒸柜达到额定温度的最长持续时间。

3.12 放热功率 heat release power

储热器放出的蒸汽热量与放热时间的比值。

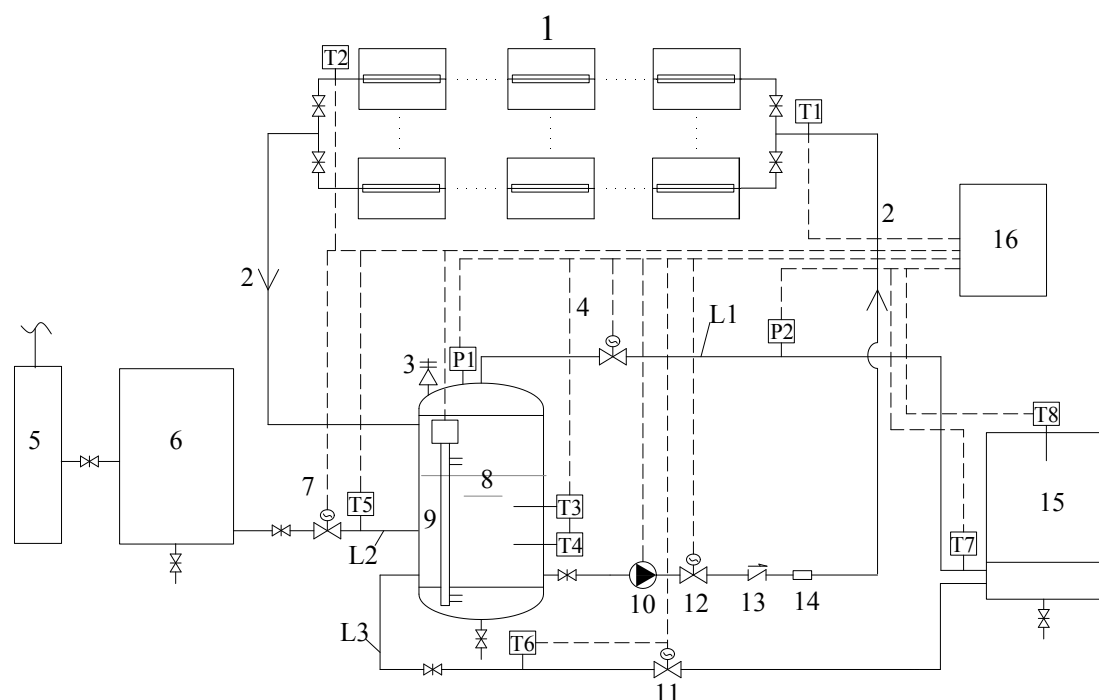
4 符号与单位

本标准使用的符号及单位见附录 A。

5 太阳能蒸锅组成及技术要求

太阳能蒸锅的组成如图 5-1 所示，一般由集热器阵列、储热器、蒸柜、控制系统和软化水装置等组成，组件通过管路连接（图中实线）。位于管路上的温度传感器、压力传感器、液位计等仪表以及循环泵、电磁阀等设备通过信号/电源线（图中虚线）与控制器连接，控制器采集仪表监测数据，并控制设备的工作状态。另外太阳能蒸锅还配置有电量表，记录日常运

行的耗电量。



1—集热器阵列；2—循环回路；3—安全阀；4—蒸汽压力控制阀；5—软化水装置；6—高位水箱；7—补水电磁阀；8—储热器；9—液位计；10—循环泵；11—电磁阀；12—流量调节阀；13—止回阀；14—过滤器；15—蒸柜；16—控制器（数据采集）；L1—蒸汽管；L2—补水管；L3—热水输出管；T1—集热器阵列入口温度传感器；T2—集热器阵列出口温度传感器；T3、T4—储热器温度传感器；T5—补水温度传感器；T6—储热器出口热水温度传感器；T7—蒸汽入口温度传感器；T8—蒸柜内部温度传感器；P1—储热器压力传感器；P2—蒸汽管道压力传感器

图 5-1 太阳能蒸锅组成示意

适用于本标准的储热型水、蒸汽太阳能蒸锅技术要求如下：

表 5-1 技术要求

技术要求 1	传热、储热工质为软化水和蒸汽，蒸汽发生方式为储热器内部直接闪蒸
技术要求 2	储热器工作压力小于 0.6 MPa，储热温度小于 160℃，储热温度小于 105℃ 时由电加热产生蒸汽。
技术要求 3	蒸柜为商用电汽两用蒸柜，符合 SB/T10697 标准，输入蒸柜的蒸汽压力小于 0.02MPa。

6 测试仪器与装置

6.1 测量参数

应对以下 19 个参数进行测量：

a) 集热器采光口面积	A_c	m^2
b) 斜面太阳总辐照度	G_T	W/m^2
c) 水平面太阳总辐照度	G	W/m^2
d) 水平面太阳散射辐照度	G_d	W/m^2
e) 环境空气温度	t_a	$^{\circ}C$
f) 环境风速	u	m/s
g) 集热器阵列进口温度	t_{in}	$^{\circ}C$
h) 集热器阵列出口温度	t_{out}	$^{\circ}C$
i) 传热工质的质量流量	\dot{m}	kg/s
j) 储热器内水温	t	$^{\circ}C$
k) 储热器压力	p_1	Pa
l) 储热器液位	H	m
m) 储热器冷却时间	$\Delta\tau$	min
n) 蒸柜入口蒸汽压力	p_2	Pa
o) 蒸柜入口蒸汽温度	t_g	$^{\circ}C$
p) 蒸汽管中的蒸汽质量流量	\dot{m}_g	kg/s
q) 蒸柜内部温度	t_{inside}	$^{\circ}C$
r) 升温时间	τ_d	s
s) 持续时间	τ_g	s
t) 耗电量	E	MJ

6.2 仪器与测量要求

测量 6.1 中的参数所采用的仪器及测量要求如下：

表 6-1 仪器与测量要求

仪器	选择、安装与测量要求
----	------------

斜面太阳总辐照表	符合GB/T 4271-2007及GB/T 19565中的相关规定
水平面太阳总辐照表	符合GB/T 19565中的相关规定，使用与安装按厂家要求
水平面太阳散射辐照表	符合GB/T 33699中的相关规定，使用与安装按厂家要求
风速传感器	符合GB/T 4271中的相关规定，使用与安装按厂家要求
流量传感器	符合GB/T 4271中的相关规定，使用与安装按厂家要求
压力传感器	符合GB/T 4271中的相关规定，使用与安装按厂家要求
温度传感器	符合GB/T 4271中的相关规定，使用与安装按厂家要求
环境空气温度传感器	符合GB/T 4271中的相关规定，使用与安装按厂家要求
液位传感器	准确度应等于或优于 $\pm 10\text{mm}$ ，使用与安装按厂家要求
计时秒表	准确度应等于或优于 $\pm 0.1\text{s}$ ，使用与安装按厂家要求
刻度尺	测量准确度应等于或优于 $\pm 1\text{mm}$ ，使用与安装按厂家要求
数字记录仪	符合GB/T 4271中的相关规定，使用与安装按厂家要求

6.3 测试仪器与装置布置

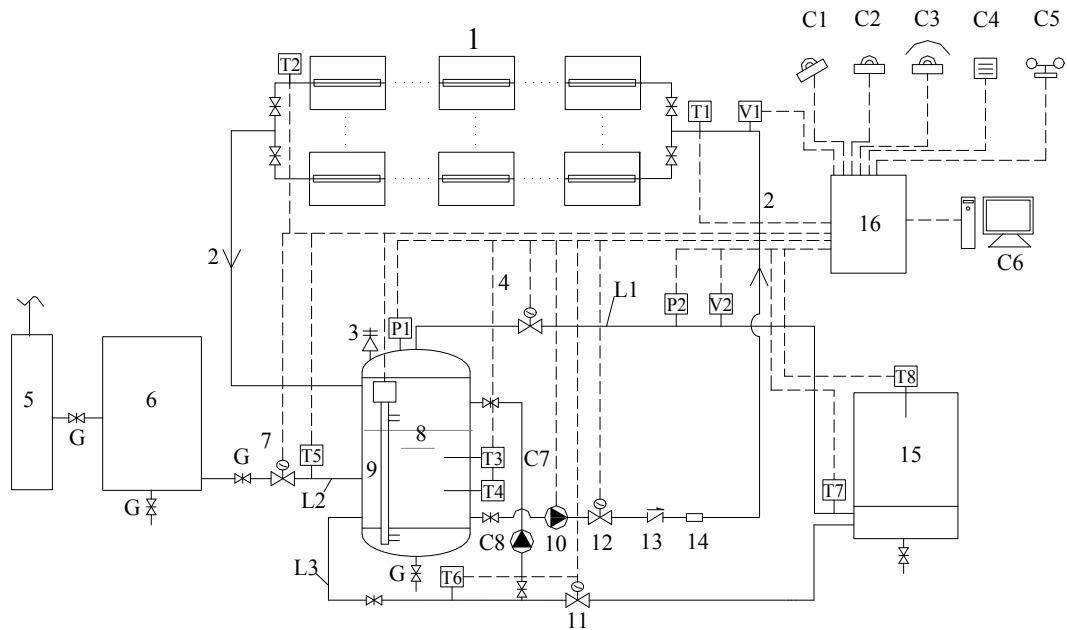
仪器与装置布置如图 6-1 所示

为获得 6.1 中规定的测量参数，太阳能蒸锅热性能测试需要配备的仪器应包括水平面太阳总辐射表、水平太阳散射辐射表、斜面太阳总辐射表、流量传感器、计时秒表、数字记录仪（计算机及数据采集装置），其余为太阳能蒸锅自带的测量仪器。

涉及到 6.1 中测量参数所需要的测量仪器应满足 6.2 中的要求。

若太阳能蒸锅自带的测量仪器不满足 6.2 中的要求，需将不满足要求的仪器替换或重新安装。

储热器顶部与底部之间需连接混水管和混水泵，尽可能使混水管的长度最小，混水管与混水泵加装伴热带后做保温。



C1—斜面太阳总辐射表；C2—水平面太阳总辐射表；C3—水平太阳散射辐射表；C4—环境温度传感器；C5—风速传感器；C6—计算机；C7—混水管；C8—混水泵；V1—流体流量传感器；V2—蒸汽流量传感器；

T1—集热器阵列入口温度传感器；T2—集热器阵列出口温度传感器；T3、T4—储热器温度传感器；T6—储热器出口热水温度传感器；T7—蒸汽入口温度传感器；T8—蒸柜内部温度传感器；P1—储热器压力传感器；P2—蒸汽管道压力传感器；9—液位计；16—控制器（数据采集）。

图 6-1 太阳能蒸锅热性能测试仪器与装置示意

7 测试方法

7.1 测试装置

测试仪器及设备的选择、使用与安装应符合第 6 章的规定与要求。

7.2 测试条件

表 7-1 测试条件要求

测试条件	要求
辐照量	日太阳辐照量范围为 $q_s=8\text{MJ}/\text{m}^2\sim 25\text{MJ}/\text{m}^2$ ，集热器斜面入射角小于CPC集热器接受半角，测试过程中集热器采光口无遮挡。
环境风速	平均值不大于 $4\text{m}/\text{s}$ 。

流体工质	集热器、连接管道及储热器内的流体工质必须为可饮用的软化水。
循环流量	小于被测集热器的安全运行流量设定值，若无厂家建议流量，根据集热器采光口面积设定为 $0.02\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ，初始流量变化稳定在设定值的 $\pm 2\%$ 以内。
储热器内初始水体积	储热器容积的 $70\%\sim 90\%$ 。
储热器内水温	需要至少2个温度传感器测量储热器内水温，闪蒸时储热器内水的初始温度为 $110^\circ\text{C}\sim 150^\circ\text{C}$ 。
环境空气温度	环境空气温度范围为 $8^\circ\text{C}\sim 39^\circ\text{C}$ 。

7.3 测试程序

测试程序包括三项测试，具体内容如下表：

表 7-2 测试程序

项目	测试目的与内容
集热性能测试	测试太阳能蒸锅的集热性能，得到集热量、集热系统效率、集热量与太阳辐照量的关系及集热耗电量占集热量的比例。
储热器闪蒸测试	测试储热器闪蒸产蒸汽进行炊事的能力，得到储热器闪蒸输出蒸汽热量、放热功率，以及饱和水温度与升温时间、持续时间的关系。
储热器热损测试	确定储热器过夜热损，包括循环回路中的倒流所引起的热损。测试得到储热器热损系数，可在储热器闪蒸测试完成后开始测试。

注意：测试人员应遵守厂家提供的太阳能蒸锅产品使用说明操作，在测试过程中必须穿戴隔热工装、手套、安全帽等劳保用品，防止烫伤、划伤等意外事件发生。

7.3.1 集热性能测试

测试过程由若干互相独立的全天测试组成，至少应有 4 天的测试结果具有相近的 $(t_i - t_{a,av})$ 值，且集热器采光面的太阳辐照量应平均分布在表 7-1 规定的范围内。

测试时间为 8h，为从太阳正午时前 4h 到太阳正午时后 4h。

测试前检查整个系统是否有损坏部位并记录，检查储热器内液位，清洁集热器采光面和聚光器表面，关闭储热器的辅助加热器，记录测试前电量表读数 E_1 ，确保蒸汽压力调节阀和补水阀关闭，使循环系统保持封闭。

在测试之前，启动循环泵使储热器内温度不低于环境温度 t_a 的水进行循环，使整个集热系统的温度一致，至少 10 min 内集热器阵列出口水温变化不大于 $\pm 1^\circ\text{C}$ 时，即认为集热系统的温度达到均匀。

保持循环泵持续运行，至太阳正午时后 4h 起停止循环泵，测试结束。

记录测试后电量表读数 E_2 。

每分钟至少一次采集 6.1 中测量参数 b)、c)、d)、e)、f)、g)、h)、i)、j)、k)、l)，储热器内部测点的平均值代表储热器温度 t 。

利用 6.1 中 b)、c)、e)、f)、h) 测量参数的数据绘制附录 B 中图 B.1、图 B.2 所示的曲线图。根据测试数据可计算测试时间内任意时间段的集热量和系统集热效率，填写附录 B 测试报告。

7.3.2 储热器闪蒸测试

闪蒸测试应在集热性能测试完成后进行，测试条件应满足表 7-1 中的相关要求。

闪蒸测试需至少进行 3 次，储热器初始水温应平均分布在表 7-1 规定的范围内。

测试过程：开启压力控制阀，控制蒸柜入口蒸汽压力 $\leq 0.02\text{MPa}$ ，监视蒸柜内温度变化曲线，计时蒸柜的升温时间 τ_d ，至蒸柜排气阀没有明显蒸汽排出时，关闭压力控制阀，记录持续时间 τ_g ，测试结束。

测试系统每分钟至少一次采集 6.1 中 j)、k)、l)、n)、o)、p)、q) 测量参数的数据，绘制附录 B 中图 B.3 所示的温度、压力随时间变化和蒸汽温度、流量随时间变化曲线，计算放热功率并填写附录 B 中的表 B.3。

7.3.3 储热器热损失测试

储热器内初始水温不小于 50°C ，在测试开始前关闭储热器的辅助加热器，启动混水泵使储热器底部水至上部混合，当储热器内温度 5min 内变化小于 1°C 时，认为储热器内水温均匀一致，停止混水。

保持储热器 12h 自然冷却状态，在储热器冷却时间至 690min 时，接通混水管伴热带电源使混水管内水温在 20min 内达到储热器水初温 t_i ，启动混水泵使储热器内达到均匀温度，当储热器水温 10min 内变化小于 1°C 时，认为储热器内水温均匀一致，这 10min 内的平均温度即为储热器水终温 t_f 。

每分钟至少一次采集 6.1 中 e)、f)、j)、l)、m) 测量参数的数据，填写附录 B 中的表 B.4。

8 测试和结果的表示

8.1 集热性能测试结果的表示

8.1.1 集热量计算

集热量 Q_{get} 为储热器内水的得热量与储热器上部空间蒸汽得热量之和，由式（1）计算，集热器阵列中储存的热量不计算在内，当储热器内蒸汽体积小于储热器体积的20%时，蒸汽得热量可忽略。

$$Q_{get} = V_{wf} \rho_{wf} t_f c_{fw} - V_{wi} \rho_{wi} t_i c_{iw} + (V - V_{wf}) \rho_g h_f - (V - V_{wi}) \rho_g h_i \dots \dots \dots (1)$$

式中：

Q_{get} ——集热量，MJ；

V ——储热器容积， m^3 ；

V_w ——储热器中饱和水的体积， m^3 ，由液位高度 H 与储热器内壁围成的圆形横截面面积的乘积计算得到；

t ——储热器中饱和水的温度， $^{\circ}C$ ；

c_w ——储热器中饱和水的比热， $kJ/(kg \cdot K)$ ；

h ——储热器中饱和蒸汽的比焓， kJ/kg ；

ρ_w ——储热器中饱和水密度， kg/m^3 ；

ρ_g ——储热器中饱和蒸汽密度， kg/m^3 。

上式中各物理量的下脚标 i 、 f 分别表示储热器中水、蒸汽在集热开始时和集热结束时的状态值，不同温度下的热物性通过查饱和水及饱和水蒸气热力性质表得到。

8.1.2 集热系统效率计算

集热系统效率 $\eta_{ys,c}$ 为集热量 Q_{get} 与集热器阵列采光口接收的太阳辐照量 Q_c 的比值，太阳辐照量 Q_c 由式（2）计算。

$$Q_c = \int_{T_1}^{T_2} G_{CPC} \cdot A_c \cdot dT \dots \dots \dots (2)$$

式中：

Q_c ——集热器阵列接收的太阳辐照量，MJ；

G_{CPC} ——集热器采光口接受的辐照度， W/m^2 ；

T_1 ——测试起始时间，s；

T_2 ——测试终止时间，s；

A_c ——集热器阵列采光口面积， m^2 。

对于 CPC 集热器，采光面接收的辐射包括太阳直射辐射、太阳散射辐射和地面反射辐射三部分。基于太阳散射辐射各向同性假设，集热器采光口的太阳直射辐照度 $G_{b,CPC}$ 由式 (3) 计算，太阳散射辐照度 $G_{d,CPC}$ 采用式 (4) 计算，地面反射辐照度 $G_{g,CPC}$ 采用式 (5) 计算。

$$G_{b,CPC} = \begin{cases} G_T - G_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right), & \text{当 } \beta + \theta_c < 90^\circ \text{ 时} \\ G_T - G_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) - G_h \rho_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right), & \text{当 } \beta + \theta_c > 90^\circ \text{ 时} \end{cases} \dots\dots (3)$$

$$G_{d,CPC} = \begin{cases} \frac{G_d}{C}, & \text{当 } \beta + \theta_c < 90^\circ \text{ 时} \\ \frac{G_d}{2} \left(\frac{1}{C} + \cos \beta \right), & \text{当 } \beta + \theta_c > 90^\circ \text{ 时} \end{cases} \dots\dots\dots (4)$$

$$G_{g,CPC} = \begin{cases} 0, & \text{当 } \beta + \theta_c < 90^\circ \text{ 时} \\ \frac{G_d}{2} \left(\frac{1}{C} - \cos \beta \right), & \text{当 } \beta + \theta_c > 90^\circ \text{ 时} \end{cases} \dots\dots\dots (5)$$

其中：

G_T ——集热器采光口测得的总辐照度， W/m^2

G_h ——水平面测得的太阳总辐照度， W/m^2

G_d ——水平面测得的太阳散射辐照度， W/m^2

β ——集热器倾角；

θ_c ——接受半角；

C ——几何聚光比；

ρ_g ——地面反射比。

根据 (3) ~ (5) 式，CPC 集热器采光口辐照度 G_{CPC} 由式 (6) 计算：

$$G_{CPC} = \begin{cases} G_T - G_d \cdot \left(\frac{1}{C} + \frac{1 + \cos \beta}{2} \right), & \text{当 } \beta + \theta_c < 90^\circ \text{ 时} \\ G_T - G_d \cdot \left(\frac{1}{C} + \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) - G_h \rho_g \cdot \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right), & \text{当 } \beta + \theta_c > 90^\circ \text{ 时} \end{cases} \dots\dots (6)$$

最后，集热系统效率由式 (7) 计算：

$$\eta_{\text{sys},c} = \frac{Q_{\text{get}}}{Q_c} \times 100\% \dots\dots\dots (7)$$

集热耗电量由式 (8) 计算:

$$E = E_2 - E_1 \dots\dots\dots (8)$$

耗电量与集热量的比值由式 (9) 计算:

$$\varepsilon = \frac{E}{Q_{\text{get}}} \times 100\% \dots\dots\dots (9)$$

其中: ε ——耗电量与集热量的比值, %

E ——集热耗电量, MJ

Q_{get} ——集热量, MJ

8.1.3 集热量与太阳辐照量的关系表示

由在不同 q_s 值下的集热量与太阳辐照量的关系表示集热性能, 可由式 (10) 表示, 其中系数 a_1 、 a_2 和 a_3 由测试结果用最小二乘法确定。测试结果应以附录 B 中图 B.2 所示的图形给出, 应将实验点和由式 (10) 预示的在 $(t_i - t_{a,av}) = 0\text{K}$ 、 10K 、 20K 、 30K 时的系统性能特性进行标绘。若这些 $(t_i - t_{a,av})$ 值未能包括 $(t_i - t_{a,av})$ 测试值的范围, 则应标绘出附加的特征线。

$$Q_{\text{get}} = a_1 q_s + a_2 (t_i - t_{a,av}) + a_3 \dots\dots\dots (10)$$

其中: Q_{get} ——集热量, MJ

q_s ——集热器采光口单位面积辐照量, MJ/m²

t_i ——集热系统初始温度, °C

$t_{a,av}$ ——环境温度, °C

8.2 储热器放热测试结果的表示

储热器内饱和水闪蒸放出蒸汽热量由式 (11) 或式 (12) 计算:

$$Q_{\text{out}} = \int_{T_1}^{T_2} \dot{m}_s (h_1' - h_2') dT \dots\dots\dots (11)$$

式中:

Q_{out} ——储热器闪蒸输出蒸汽热量, kJ

\dot{m}_s ——蒸汽管中的蒸汽质量流量, kg/s

h_1' ——输入至蒸柜饱和蒸汽的比焓值, kJ/kg

h_2' ——蒸柜中凝结水的比焓值, kJ/kg

T_1 ——放热起始时间, s

T_2 ——放热终止时间, s

上式中, 根据饱和蒸汽与凝结水温度, 通过查阅饱和水蒸气热力性质表得到比焓值或其他热物性。

$$Q_{out} = V_{wi}\rho_{wi}t_i c_{iw} - V_{wf}\rho_{wf}t_f c_{fw} + (V - V_{wi})\rho_g h_i' - (V - V_{wf})\rho_g h_f' \dots\dots\dots (12)$$

式中:

Q_{out} ——储热器内饱和水闪蒸输出蒸汽热量, kJ

V ——储热器容积, m^3

V_w ——储热器中饱和水的体积, m^3 , 由液位高度 H 与储热器内壁围成的圆形横截面面积的乘积计算得到。

t ——储热器中饱和水的温度, $^{\circ}C$

c_w ——储热器中饱和水的比热容, $kJ/(kg \cdot K)$

h' ——储热器中饱和蒸汽的比焓, kJ/kg

ρ_w ——储热器中饱和水密度, kg/m^3

ρ_g ——储热器中饱和蒸汽密度, kg/m^3

上式中各物理量的下脚标 i 、 f 分别表示储热器中饱和水、蒸汽在闪蒸开始时和闪蒸结束时的状态值, 不同温度下的热物性通过查饱和水及饱和水蒸气热力性质表得到。

储热器闪蒸放出蒸汽的放热功率由式 (13) 计算。

$$P_{out} = \frac{Q_{out}}{T_2 - T_1} \dots\dots\dots (13)$$

式中:

P_{out} ——储热器闪蒸放热功率, kW

8.3 储热器热损系数计算

储热器热损失系数由式 (14) 计算。

$$U_S = \frac{\rho c_p V_w}{\Delta \tau} \ln \left[\frac{t_i - t_{a(av)}}{t_f - t_{a(av)}} \right] \dots\dots\dots (14)$$

其中：

U_S ——储热器的热损系数，W/k；

c_p ——水的比热容，J/(kg·k)；

ρ ——水的密度，kg/ m³；

V_w ——储热器中水的体积，m³；由液位高度 H 与储热器内壁围成的圆形横截面面积的乘积计算得到。

$\Delta \tau$ ——储热器冷却时间，s；

$t_{a(av)}$ ——储热器附近空气温度平均值，℃；

t_i ——储热器内水温初始值，℃；

t_f ——储热器内水温结束值，℃。

9 测试报告

太阳能蒸锅热性能测试报告见附录 B。

附 录 A

(规范性附录)

符号和单位

符号和单位见表 A. 1

表 A. 1 符号和单位

符号 Symbol	意义 Meaning	单位 Units
A_c	集热器阵列采光面积 <i>Aperture area of the collector field</i>	m^2
G_H	水平面总辐照度 <i>Solar irradiance at horizontal plane</i>	W/m^2
G_T	集热器斜面总辐照度 <i>Solar irradiance at title plane of collector</i>	W/m^2
G_d	水平面散射辐照度 <i>Diffuse irradiance at horizontal plane</i>	W/m^2
G_{CRC}	集热器采光口辐照度 <i>Solar irradiance at aperture plane of collector</i>	W/m^2
β	集热器倾角 <i>Inclined angle of collector</i>	°
θ_c	集热器接受半角 <i>Acceptance half angle of collector</i>	°
C	集热器聚光比 <i>Concentration ratio of collector</i>	—
ρ_g	地面反射比 <i>Reflectance of ground</i>	—
t_{in}	传热流体进口温度 <i>Temperature of heat transfer fluid at the collector inlet</i>	°C
t_{out}	传热流体出口温度 <i>Temperature of heat transfer fluid at the collector outlet</i>	°C
\dot{m}	传热流体的质量流量 <i>mass flow rate of heat transfer fluid</i>	kg/s
t_i	储热器水初温 <i>Initial temperature of water in thermal storage tank</i>	°C
t_f	储热器水终温 <i>Final temperature of water in thermal storage tank</i>	°C
p_1	储热器压力 <i>Pressure in thermal storage tank</i>	°C
V	储热器容积 <i>volume of thermal storage tank</i>	m^3

符号 Symbol	意义 Meaning	单位 Units
V_w	储热器内水的体积 <i>Water volume in thermal storage tank</i>	m ³
$\Delta\tau$	储热器冷却时间 <i>Cooling time of thermal storage tank</i>	min
\dot{m}_s	蒸汽管中的蒸汽质量流量 <i>mass flow rate of steam in steam pipe</i>	kg/s
p_2	蒸柜入口蒸汽压力 <i>Inlet steam pressure of steamed rice cabinet</i>	Pa
τ_d	升温时间 <i>Temperature rise time</i>	s
τ_g	持续时间 <i>Persistent period</i>	s
u	环境空气速度 <i>Surrounding air speed</i>	m/s
t_a	环境空气温度 <i>Ambient or surrounding air temperature</i>	°C
E	系统耗电量 <i>Electric power consumption of system</i>	kWh
E_1	起始时刻电表读数 <i>Readings on the electricity meter at the starting time</i>	kWh
E_2	结束时刻电表读数 <i>Readings on the electricity meter at the terminal time</i>	kWh
ε	耗电量与集热量的比值 <i>Ratio of power consumption to heat gain of system</i>	%
Q_{get}	集热量 <i>heat gain of system</i>	MJ
Q_c	采光口太阳辐照量 <i>Solar irradiation at aperture surface</i>	MJ
q_c	采光口单位面积太阳辐照量 <i>Solar irradiation at unit area of aperture surface</i>	MJ/m ²
Q_{out}	输出蒸汽热量 <i>Output steam heat</i>	MJ
$\eta_{sys,c}$	集热系统效率 <i>System efficiency of heat collecting</i>	%
T_1	测试起始时间 <i>Starting time</i>	s
T_2	测试终止时间 <i>Terminal time</i>	s
U_s	储热器热损失系数 <i>Heat loss coefficient of thermal energy storage tank</i>	W/k

下标/ *Subscripts*

<i>av</i>	平均值 <i>Average</i>
<i>max</i>	最大值 <i>Maximum</i>
<i>min</i>	最小值 <i>Minimum</i>

附 录 B

（规范性附录）

测试报告格式

测试报告

(报告编号)

产品名称：_____

委托单位：_____

生产单位：_____

测试类别：_____

年 月 日

注意事项

1. 报告无“检测报告专用章”或检验单位公章无效。
2. 检测报告无主检、审核、批准人签字无效。
3. 检测报告涂改无效。
4. 对检测报告若有异议，应于收到报告之日起十五日内向检测单位提出。
5. 检测报告仅对委托的检测样品或设备负责。

1.1 系统描述 /

-系统实物图

1.2 集热器描述 / Collector Description

1.2.1 基本数据 / Basic data

- 生产商/ Manufacturer:
- 集热器属性/ Collector properties
- 集热器阵列采光口面积 / Aperture area of collector array

1.2.2 集热器参数 / parameters of collector

- 集热器型号/Collector model:
- 采光口面积 / Aperture area:
- 采光口宽度 / Aperture breadth:
- 真空管直径 / Evacuated tube diameter:
- 真空管长度 / Evacuated tube or channel length:
- 真空管间距 / Gap between the evacuated tubes:
- 内插管内径 /Tube diameter (inside):
- 管子或通道数量 / Number of tubes or channels:
- 聚光比 / Concentration ratio
- 反射板材质 / Reflector textures
- 保温材质/ Insulation material
- 保温层厚度/ Insulation thickness

1.2.3 传热流体 / Heat Transfer Fluid (HTF)

- 传热流体名称 / HTF name:
- 传热流体型号 / HTF type:
- 传热流体说明 (添加剂等) / HTF specifications (additives etc.):

1.2.4 运行条件 / Operation conditions

- 最高运行温度 / Maximum temperature of operation:
- 最大运行压力 / Maximum operating pressure:

1.2.5 集热器地点与安装角度 Location and installation angle of collector

- 纬度 / Latitude:
- 经度 / Longitude:
- 集热器倾角 / Collector tilt angle:
- 集热器方位角 / Collector Azimuth:

1.2.6 集热器照片 / Photo of Collectors

1.3 储热器描述 / Heat storage unit description

1.3.1 基本数据 / Basic data

- 生产商/ Manufacturer:

- 型号/ Mode:
- 附属设备 / Accessory equipments:

1.3.2 储热器主要参数/ Parameters of heat storage unit

- 储热器容积 / Volume
- 储热器直径 / Diameter
- 储热器表面积 / Superficial area
- 储热器材质 / Material
- 储热器最大工作压力 / Maximum working pressure
- 储热器最高工作温度 / Maximum working temperature
- 储热器保温层材质 / Insulation material
- 储热器保温层厚度 / Insulation thickness

1.3.3 储热器实物图/ Photo of heat storage unit

1.4 蒸柜描述 / Steam Cupboard Description

1.4.1 基本数据/Basic data

- 蒸柜生产厂家 / Manufacturer:
- 蒸柜型号 / Mode:

1.4.2 蒸柜主要参数 / Major parameter

- 蒸柜外形尺寸 / Boundary dimension:
- 蒸柜电功率 / Electric power:
- 蒸柜输入蒸汽压力 / Steam pressure :
- 最大蒸饭量/ The largest mass of dry rice:

1.4.3 蒸柜实物图/ Photo of steam cupboard

2. 测试仪器/ Instrument

序号	仪器名称	规格型号	测量范围	测量精度	备注
No.	Instrument	Model	Test range	Test accuracy	Remarks
1					
2					
3					
4					
5					

3. 测试结果，测量和计算的数据

3.1 集热性能测试数据与计算结果 / The test data and calculated results of solar collecting performance

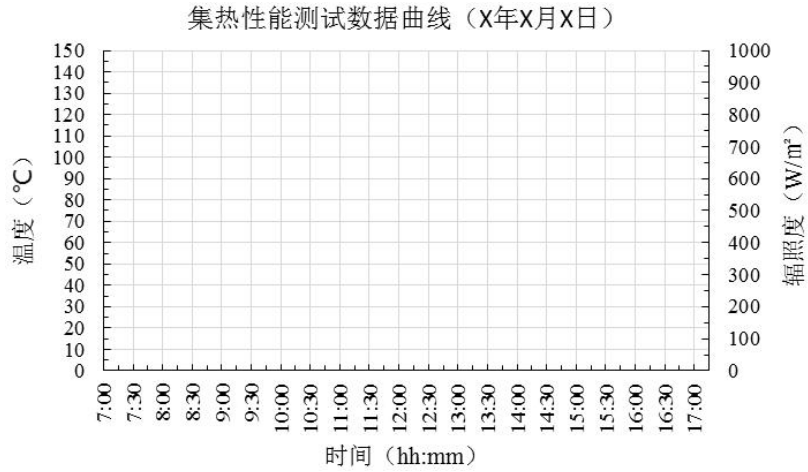
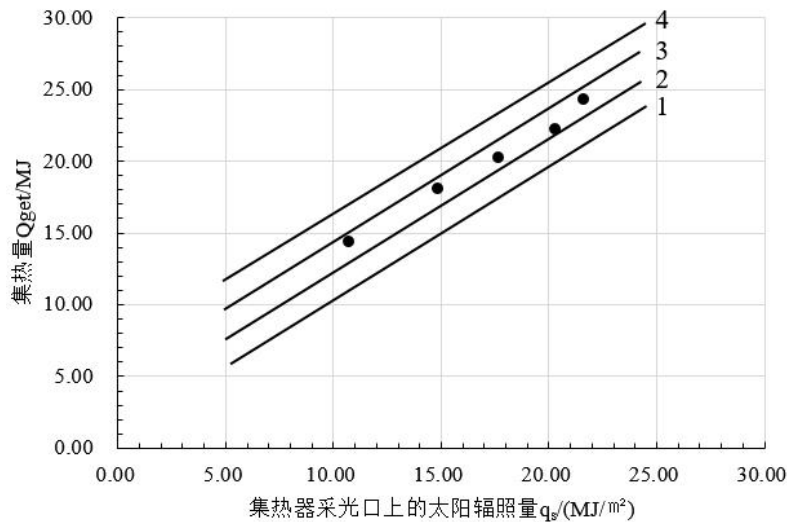


图 B.1 / Figure B.1 温度-辐照度变化曲线



1—— $(t_i - t_{a,av}) = 0K$; 2—— $(t_i - t_{a,av}) = 10K$; 3—— $(t_i - t_{a,av}) = 20K$; 4—— $(t_i - t_{a,av}) = 30K$

图 B.2 / Figure B.2 集热量与太阳辐照量的关系曲线

表 B.1 集热性能测试数据-室外气象参数

T_1	T_2	u_{avg}	u_{max}	u_{min}	$t_{a,avg}$	$t_{a,max}$	$t_{a,min}$	G_{avg}	G_{max}	G_{min}
Y/M/D HH:MM	Y/M/D HH:MM	m/s	m/s	m/s	°C	°C	°C	W/m ²	W/m ²	W/m ²

表 B.2 集热性能测试数据与计算结果-集热量与集热系统效率

T_1	T_2	t_i	t_f	V_{wi}	V_{wf}	Q_{get}	Q_c	$\eta_{sys,c}$
Y/M/D HH:MM	Y/M/D HH:MM	℃	℃	m ³	m ³	kJ	kJ	%

3.2 储热器闪蒸测试数据与计算结果 / Flash evaporation test data and calculated result

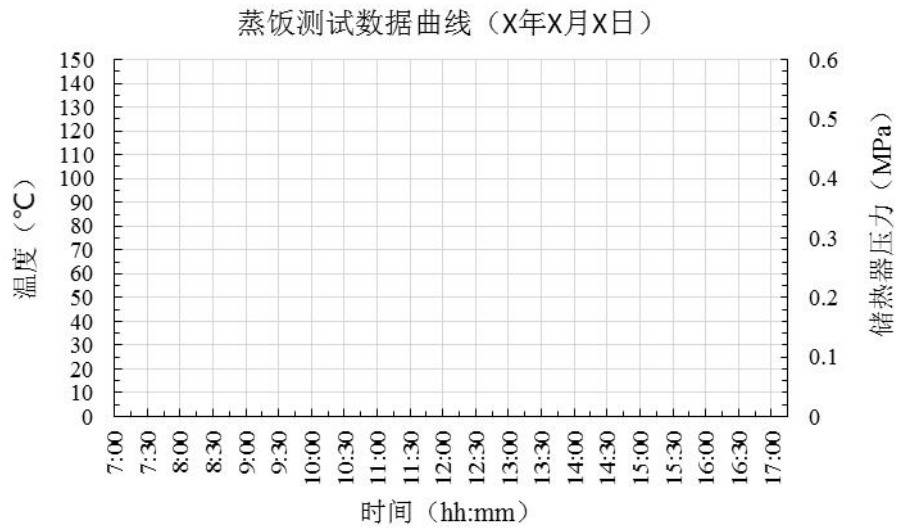


图 B.3 / Figure B.3 储热器温度-压力变化曲线

表 B.3/ Table B.3 储热器闪蒸测试数据与计算结果-蒸汽热量、放热功率、持续时间

T_1	T_2	t_i	t_f	V_{wi}	V_{wf}	Q_{out}	P_{out}	τ_d	τ_g
Y/M/D HH:MM	Y/M/D HH:MM	℃	℃	m ³	m ³	MJ	kW	s	s

3.3 储热罐热损测试与计算结果

表 B.4/ Table B.4 储热器热损测试数据与计算结果-热损系数

T_1	T_2	t_i	t_f	$\Delta \tau$	$t_{a,av}$	V_w	U_s
Y/M/D HH:MM	Y/M/D HH:MM	°C	°C	min	°C	m ²	W/K

3.4 耗电量/ Electricity consumption

表 B.5/ Table B.5 耗电量

Time	E_1	E_2	E	\mathcal{E}
Y/M/D	kWh	kWh	kWh	%

3.5 系统稳定性/ system stability

表 B.6 / Table B.6 系统运行稳定性

序号	时间	系统故障与报警
No.	Y/M/D (HH:MM)	Alarm
1		
2		
3		

4. 总结与评价 / Summary and evaluation