
太阳能集热器性能测试研究及 太阳能集热器应用效果分析

二零零八年七月二日

目 录

前 言	1
课题研究内容.....	2
第一章 国内外太阳能集热器热性能测试方法与测试数据分析	3
1.1 太阳能集热器热性能测试原理与方法.....	3
1.1.1 国内太阳能集热器热性能测试原理与方法分析.....	3
1.1.2 国外太阳能集热器热性能测试原理与方法分析.....	10
1.2 国内外太阳能集热器热性能数据分析.....	24
1.2.1 国内真空管型太阳能集热器热性能数据分析.....	25
1.2.2 国内平板型太阳能集热器热性能数据分析.....	29
1.2.3 国内平板型太阳能集热器热性能数据差异性分析.....	31
1.3 国外太阳能集热器热性能数据分析.....	32
1.3.1 国外真空管型太阳能集热器热性能数据分析.....	32
1.3.2 国外平板型太阳能集热器热性能数据分析.....	38
1.4 国内外太阳能集热器热性能数据差异性分析.....	55
1.4.1 国内外真空管型太阳能集热器热性能数据差异性分析.....	55
1.4.2 国内外平板型太阳能集热器热性能数据差异性分析.....	55
第二章 空晒对太阳能集热器热性能的影响.....	56
2.1 实验的目的.....	56
2.2 实验方案	56
2.2.1 实验样品.....	56
2.2.3 样品选取原则.....	56
2.2.2 实验步骤.....	56
2.3 实验样品描述.....	57
2.3.1 平板型太阳能集热器（全铜）	57
2.3.2 玻璃-金属封接式真空管型太阳能集热器.....	58
2.3.3 热管式真空管型太阳能集热器.....	59
2.3.4 U型管真空管型太阳能集热器.....	60
2.4 实验数据	61
2.4.1 平板型太阳能集热器（全铜）	61
2.4.2 玻璃-金属封接式真空管型太阳能集热器.....	63
2.4.3 热管式真空管型太阳能集热器.....	65
2.4.4 U型管真空管型太阳能集热器.....	67
2.5 实验数据分析.....	69
2.6 实验结论	71
第三章 选择性吸收涂层性能对比研究.....	72
3.1 选择性涂层的功能.....	72
3.2 涂层性能试验方法.....	72
3.3 涂层法向发射率测试方法.....	72
3.4 涂层老化实验方案.....	72
3.5 样品描述.....	74
3.5.1 全铜电镀黑铬选择性吸收涂层.....	74
3.5.2 全铝电镀黑铬选择性吸收涂层.....	75

3.5.3 全铜磁控溅射选择性吸收涂层.....	76
3.6 第一阶段试验数据整理.....	77
3.7 第二阶段试验数据整理.....	77
3.8 第三阶段试验数据整理.....	78
3.9 第四阶段试验数据整理.....	79
3.10 涂层老化实验结果分析.....	80
3.11 涂层老化试验结论.....	82
第四章 太阳能集热器在工程中的应用效果分析.....	83
4.1 平板型太阳能集热器工程应用效果分析.....	83
4.1.1 北京某工程.....	83
4.1.2 北京某工程.....	87
4.1.3 云南某工程.....	90
4.2 真空管型太阳集热器工程应用效果分析.....	92
4.2.1 云南某工程.....	92
4.2.2 唐山某工程.....	95
第五章 太阳能集热器生产工艺流程和应用前景分析.....	98
5.1 平板型太阳能集热器生产工艺流程和应用前景分析.....	98
5.1.1 平板型太阳能集热器构造与组成.....	98
5.1.2 平板型太阳能集热器集热器生产工艺流程.....	99
5.1.3 平板型太阳能集热器生应用前景分析.....	99
5.2 承压真空管型太阳能集热器生产工艺流程和应用前景分析.....	101
5.2.1 承压真空管型太阳能集热器生产工艺流程.....	101
5.2.2 承压真空管型太阳能集热器生应用前景分析.....	101

前 言

目前，我国太阳能热利用行业发展迅速，目前中国是世界上太阳能热水器生产量和保有量最多的国家，太阳能集热器是太阳热利用系统中的关键部件，而热性能又是太阳能集热器关键的性能参数，因此本研究将针对太阳能集热器的热性能展开研究。

本研究首先对国内外对于太阳能热性能测试标准方法进行了对比分析，同时对国内外太阳能集热器检测中心的集热器热性能数据进行了汇总分析，然后本研究确定了空晒对集热器热性能和集热器吸热体涂层的影响，为太阳能集热器的工程中应用提供了有利的支持，同时对国内已有的几个不同类型的太阳能热利用工程进行了介绍，对系统性能进行了评价，最后本研究对太阳能集热器的生产流程和工艺进行了介绍。

通过本研究，可以知道国内外太阳能集热器在热性能方面的差距，可以定量空晒对集热器热性能的影响，可以了解太阳能工程应用情况和太阳能集热器生产过程。

课题研究内容

根据合同，课题组进行了如下内容的研究：

- (1) 国内外太阳能集热器热性能测试方法的对比分析
- (2) 国内外太阳能集热器热性能比较分析
- (3) 空晒对太阳能集热器热性能影响的测试研究
- (4) 空晒对太阳能集热器涂层性能影响的测试研究
- (5) 国内部分太阳能热利用工程的测试研究
- (6) 太阳能集热器生产流程的研究

第一章 国内外太阳能集热器热性能测试方法与测试数据分析

太阳能集热器的热性能是太阳能热利用产品应用的关键参数，因此本研究对太阳能集热器热性能测试方法进行了总结和对比研究，同时对国内外太阳能集热器的热性能测试数据进行了汇总分析。

1.1 太阳能集热器热性能测试原理与方法

太阳能集热器瞬时效率是指在稳态条件下，特定时间间隔内由传热工质从一特定的集热器面积上带走的能量与同一时间间隔内入射在该集热器面积上的太阳能之比，亦即集热器实际获得的有用功率与集热器接收的太阳辐射功率之比。

实际获得的有用功率 Q 由下式计算：

$$Q = mc_f \Delta T$$

式中：

c_f —为与平均工质温度相对应的比热值；

m —为工质的流量；

ΔT —工质的温升。

法向入射时，集热器接收的太阳辐射功率 J 为：

$$J = AG$$

式中：

A —为太阳能集热器的面积；

G —为集热器平面上的太阳辐照度。

由此，太阳能集热器瞬时效率 h 为：

$$h = \frac{Q}{AG}$$

1.1.1 国内太阳能集热器热性能测试原理与方法分析

1.1.1.1 试验装置

传热工质一般应从集热器进口流到出口，也可以根据生产厂家的要求确定集热器中工质的流向。

1.1.1.2 集热器试验前处理

试验前应对集热器进行外观检查，并做好记录。

试验前应对集热器采光口的盖板表面、真空管表面或反射器表面进行彻底清洁。

如果集热器部件上有水汽,应使用 80℃左右的传热工质在集热器中循环一段时间,烘干隔热材料和集热器外壳。如果进行该项处理,应在检测报告中加以说明。

必要时,可以使用排气阀或使工质在管道中快速循环,来排出集热器管道中聚积的气体。

通过回路中的透明管来观察工质中是否混有气体或杂质。

1.1.1.3 试验条件

1.1.1.3.1 太阳辐照度

试验期间,集热器采光面上的总太阳辐照度应不小于 $700\text{W}/\text{m}^2$,试验期间总太阳辐照度的变化应不大于 $\pm 50\text{W}/\text{m}^2$ 。

1.1.1.3.2 环境空气速度

试验期间,周围环境空气速度不应高于 $4\text{m}/\text{s}$ 。

1.1.1.3.3 工质质量流量

工质质量流量可以根据生产厂家推荐的流量值进行试验。当厂家没有声明时,工质质量流量可根据集热器总面积设定在 $0.02\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。在每个试验周期内,流量应稳定在设定值的 $\pm 1\%$ 以内。不同试验周期的流量变化应不超过设定值的 10% 。

对于某些集热器,如果推荐的流速有可能处于层流和紊流过渡区,可以采用 EN12975-1 规定的方法来处理:在过渡区,首先应将流量设为高值(紊流区)然后再逐渐减小至设定值,避免流速处于从层流到紊流过渡区。如果采用如上措施,应在测试结果中注明。

1.1.1.3.4 直接日射入射角

集热器采光口上的直接日射入射角应保持在入射角的 $\pm 2.5^\circ$ 的角度范围之内。

1.1.1.4 试验程序

为了测定集热器的效率特性,集热器试验应在晴朗天气条件下集热器的工作温度范围内进行。

对于数据点的选取，应在集热器工作温度范围内至少取四个间隔均匀的工质进口温度。为了获得 h_0 ，其中一个进口温度应使集热器工质平均温度与环境空气温度之差在 $\pm 3^\circ\text{C}$ 之内。应根据集热器的最高工作温度确定最高工质进口温度，对于平板型集热器，集热器最高进口温度不应超过 70°C ，对于真空管型集热器，最高进口温度与环境温度之差应大于 40°C 。

对每个工质进口温度至少取四个独立的数据点，每个瞬时效率点的测定时间间隔应不少于 3min 。

在试验期间，应按 1.1.1.5 中所规定的项目进行测量。在上述时间间隔内，每分钟至少一次定时采集 1.1.1.5 中 c)、d)、f)、g)、h)、i)、j) 测量参数的数据，以其算术平均值作为该参数的测定值。

由于仪器准确度的问题，工质温差小于 1.5°C 的测量结果可不予记录。

1.1.1.5 测量

应对以下参数进行测量：

- a) 集热器总面积 A_G 、吸热体面积 A_A 、采光面积 A_a 和轮廓采光面积 A_c ；
- b) 工质容量 V_f ；
- c) 太阳能集热器采光面上太阳辐照度 G ；
- d) 太阳能集热器采光面上散射太阳辐照度 G_d ；
- e) 直接日射入射角 q ；（通常由计算得出）
- f) 环境空气风速 u ；
- g) 环境空气温度 t_a ；
- h) 工质进口温度 t_i ；
- i) 工质出口温度 t_e ；
- j) 工质流量 \dot{m} 。

1.1.1.6 试验周期（稳态）

稳态数据点的试验周期应包括至少 12min 的预备期和至少 12min 的稳态测量期。

在任何情况下，稳态试验周期应大于集热器有效热容量 C 与工质热流量 $\dot{m}c_f$

之比的 4 倍。

如果试验参数偏离它们在试验周期内的平均值不超过表 1-1 规定的范围，则可认为在给定试验周期内集热器处于稳态工况。

表 1-1 试验周期内测量参数的允许偏离范围

参 数	平均值允许偏离范围
太阳辐照度	$\pm 50\text{W/m}^2$
环境空气温度	$\pm 1^\circ\text{C}$
工质质量流量	$\pm 1\%$
集热器进口工质温度	$\pm 0.1^\circ\text{C}$

1.1.1.7 试验结果的表示

应对测量结果进行整理，形成一组满足稳态运行试验条件的数据点。

1.1.1.8 集热器效率的计算

在稳态条件下运行的太阳能集热器的瞬时效率 h （或 \bar{h} ）定义为在稳态条件下，集热器实际获得的有用功率与集热器表面接收的太阳辐射功率之比。

实际获得的有用功率 \dot{Q} 由式（2）计算：

$$\dot{Q} = \dot{m}c_f \Delta T \dots\dots\dots (2)$$

式中： \dot{m} ——工质质量流量，单位为千克每秒（kg/s）；

c_f ——对应于平均工质温度 t_m 的传热工质比热容，单位为焦耳每千克摄氏度（J/（kg·°C））；

ΔT ——工质进出口温度差 $= t_e - t_i$ ，单位为摄氏度（°C）；

若 \dot{m} 是由体积流量测得，则密度和比热容应由流经流量计的工质温度确定。

1.1.1.8.1 集热器接收的太阳能

对于单层玻璃平板型集热器，入射角小于或等于 30° ，不需使用入射角修正系数对集热器接收的太阳能进行修正；对于真空管型集热器，入射角小于或等于 10° ，不需使用入射角修正系数对集热器接收的太阳能进行修正。

测试时，可以根据生产厂家的要求，采用总面积、采光面积、吸热体面积和轮廓采光面积其中的一个面积或者几个面积作为参考面积进行测试；当生产厂家

无要求时，实验室可以根据实际情况确定。当检测数据用于国际交流时，可以采用总面积、采光面积或吸热体面积中的任意一个面积作为参考面积进行测试：

a) 以集热器总面积为参考

当以集热器总面积为参考时，集热器接收的太阳辐射功率为 $A_G G$ ；故式 (3)

为：

$$h_G = \frac{\dot{Q}}{A_G G} \dots\dots\dots (3)$$

b) 以集热器采光面积为参考

当以集热器采光面积为参考时，集热器接收的太阳辐射功率为 $A_a G$ ；故式 (4)

为：

$$h_a = \frac{\dot{Q}}{A_a G} \dots\dots\dots (4)$$

c) 以集热器吸热体面积为参考

当以集热器吸热体面积为参考时，接收的太阳辐射功率为 $A_A G$ ；故式 (5)

为：

$$h_A = \frac{\dot{Q}}{A_A G} \dots\dots\dots (5)$$

d) 以集热器轮廓采光面积为参考

当以集热器轮廓采光面积为参考时，接收的太阳辐射功率为 $A_c G$ ；故式 (6)

为：

$$h_c = \frac{\dot{Q}}{A_c G} \dots\dots\dots (6)$$

1.1.1.8.2 归一化温差

瞬时效率 h (或 \bar{h}) 由归一化温差 T^* 的函数图形方式表示出来。

当使用传热工质平均温度 t_m 时，

$$t_m = t_i + \frac{\Delta T}{2} \dots\dots\dots (7)$$

归一化温差为

$$T_m^* = \frac{t_m - t_a}{G} \dots\dots\dots (8)$$

当使用集热器进口温度 t_i 时，归一化温差为

$$T_i^* = \frac{t_i - t_a}{G} \dots\dots\dots (9)$$

1.1.1.8.3 瞬时效率的结果表示

瞬时效率 h （或 \bar{h} ）的图形应利用最小二乘法进行曲线拟合得出，由下列式

(10) 或式 (11) 获得瞬时效率曲线：

$$h = h_0 - a_1 T^* - a_2 G (T^*)^2 \dots\dots\dots (10)$$

或

$$h = h_0 - UT^* \dots\dots\dots (11)$$

应根据拟和的紧密程度来选择一次或二次曲线。如果 a_2 的计算值是负数，则不应选用二次拟合。

利用二次拟合结果绘制曲线图时， G 应取 $800W/m^2$ 。

对于平板型集热器，在散射太阳辐照度大于总辐照度 30%条件下测得的数据点，应修正到等效法向日射辐照度。若散射太阳辐照度小于 30%，则可以忽略其影响。对于真空管型集热器，则不必考虑散射太阳辐照对集热器效率的影响。

以下条款为集热器面积（总面积、采光面积、吸热体面积、轮廓采光面积）和归一化温差（ T_m^* 、 T_i^* ）相组合的八种情况提供了瞬时效率的计算式。

a) 基于集热器总面积的瞬时效率

若用归一化温差 T_m^* 可给出公式 (12)、(13)：

$$\bar{h}_G = \bar{h}_{0G} - \bar{U}_G \frac{t_m - t_a}{G} \dots\dots\dots (12)$$

或

$$\bar{h}_G = \bar{h}_{0G} - \bar{a}_{1G} \frac{t_m - t_a}{G} - \bar{a}_{2G} G \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right)^2 \dots\dots\dots (13)$$

式中

$$\bar{h}_G = \frac{\dot{Q}}{A_G G} \dots\dots\dots (14)$$

若用归一化温差 T_i^* ，瞬时效率公式 (15)、(16) 为：

$$h_G = h_{0G} - U_G \frac{t_i - t_a}{G} \dots\dots\dots (15)$$

或

$$h_G = h_{0G} - a_{1G} \frac{t_i - t_a}{G} - a_{2G} G \left(\frac{t_i - t_a}{G} \right)^2 \dots\dots\dots (16)$$

式中

$$h_G = \frac{\dot{Q}}{A_G G} \dots\dots\dots (17)$$

b) 基于集热器采光面积的瞬时效率

以归一化温差 T_m^* 为参考的瞬时效率公式 (18)、(19) 为:

$$\bar{h}_a = \bar{h}_{0a} - \bar{U}_a \frac{t_m - t_a}{G} \dots\dots\dots (18)$$

或

$$\bar{h}_a = \bar{h}_{0a} - \bar{a}_{1a} \frac{t_m - t_a}{G} - \bar{a}_{2a} G \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right)^2 \dots\dots\dots (19)$$

式中

$$\bar{h}_a = \frac{\dot{Q}}{A_a G} \dots\dots\dots (20)$$

若用归一化温差 T_i^* , 瞬时效率方程公式 (21)、(22) 为:

$$h_a = h_{0a} - U_a \frac{t_i - t_a}{G} \dots\dots\dots (21)$$

或

$$h_a = h_{0a} - a_{1a} \frac{t_i - t_a}{G} - a_{2a} G \left(\frac{t_i - t_a}{G} \right)^2 \dots\dots\dots (22)$$

式中

$$h_a = \frac{\dot{Q}}{A_a G} \dots\dots\dots (23)$$

c) 基于集热器吸热体面积的瞬时效率

以归一化温差 T_m^* 为参考的瞬时效率公式 (24)、(25) 为:

$$\bar{h}_A = \bar{h}_{0A} - \bar{U}_A \frac{t_m - t_a}{G} \dots\dots\dots (24)$$

或

$$\bar{h}_A = \bar{h}_{0A} - \bar{a}_{1A} \frac{t_m - t_a}{G} - \bar{a}_{2A} G \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right)^2 \dots\dots\dots (25)$$

式中

$$\bar{h}_A = \frac{\dot{Q}}{A_A G} \dots\dots\dots (26)$$

若用归一化温差 T_i^* , 瞬时效率方程公式 (27)、(28) 为:

$$h_A = h_{0A} - U_A \frac{t_i - t_a}{G} \dots\dots\dots (27)$$

或

$$h_A = h_{0A} - a_{1A} \frac{t_i - t_a}{G} - a_{2A} G \left(\frac{t_i - t_a}{G} \right)^2 \dots\dots\dots (28)$$

式中

$$h_A = \frac{\dot{Q}}{A_A G} \dots\dots\dots (29)$$

d) 基于集热器轮廓采光面积的瞬时效率

以归一化温差 T_m^* 为参考的瞬时效率公式 (30)、(31) 为:

$$\bar{h}_c = \bar{h}_{0c} - \bar{U}_c \frac{t_m - t_a}{G} \dots\dots\dots (30)$$

或

$$\bar{h}_c = \bar{h}_{0c} - \bar{a}_{1c} \frac{t_m - t_a}{G} - \bar{a}_{2c} G \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right)^2 \dots\dots\dots (31)$$

式中

$$\bar{h}_c = \frac{\dot{Q}}{A_c G} \dots\dots\dots (32)$$

若用归一化温差 T_i^* , 瞬时效率方程公式 (33)、(34) 为:

$$h_c = h_{0c} - U_c \frac{t_i - t_a}{G} \dots\dots\dots (33)$$

或

$$h_c = h_{0c} - a_{1c} \frac{t_i - t_a}{G} - a_{2c} G \left(\frac{t_i - t_a}{G} \right)^2 \dots\dots\dots (34)$$

式中

$$h_c = \frac{\dot{Q}}{A_c G} \dots\dots\dots (35)$$

1.1.2 国外太阳能集热器热性能测试原理与方法分析

1.1.2.1 国际标准中太阳能集热器热性能测试原理与方法

1.1.2.1.1 试验装置

传热工质应从集热器底部流到顶部。

1.1.2.1.2 集热器的准备

在试验前应对集热器进行外观检查, 并记录损坏程度。

应彻底清洁集热器采光口的盖板。

如果集热器部件上有水汽, 应使用 80℃ 左右的传热工质在集热器中循环一段时间, 以便烘干隔热材料和集热器外壳。如果进行该项处理, 应在试验报告中

加以说明。

必要时，应使用排气阀或使工质在管道中高速循环，以排出集热器管道中积聚的气体。

应通过回路中的透明管来观察工质中是否有气体或杂质，若有应排净。

1.1.2.1.3 试验条件

在试验期间，集热器采光面上的总日射辐照度应不小于 $800\text{W}/\text{m}^2$ 。

集热器采光口上的直接日射入射角应在垂直入射时入射角修正系数值 $\pm 2\%$ 的角度范围之内。对于单层玻璃的集热器，如果在集热器采光口上的直接日射入射角小于 30° ，就能满足以上条件。对于特定设计的集热器，需要更小的入射角。为了表示其他入射角时的集热器性能，可用一个入射角修正系数来确定。

集热器周围环境的平均风速应在 $2\sim 4\text{ m/s}$ 之间。

除另有声明，工质流量应根据集热器总面积设定在 $0.02\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$ 左右。在每个试验周期内，流量应稳定在设定值的 $\pm 1\%$ 以内。不同试验周期的流量变化应不超过设定值的 10% 。

由于仪器准确度的问题，小于 1.5 K 的工质温差测量结果可不予记录。

1.1.2.1.4 试验程序

为了测定集热器的效率特性，集热器试验应在晴朗天气条件下集热器的工作温度范围内进行。

对于数据点的选取，应在集热器工作温度范围内至少取四个间隔均匀的工质进口温度。为了获得 h_0 ，其中一个进口温度应使平均工质温度与环境空气温度之差在 $\pm 3\text{ K}$ 之内（如果传热工质为水，一般最高温度为 70°C ）。

对每个工质进口温度至少取四个独立的数据点，从而总共给出 16 个数据点。

在试验期间，应按 1.1.2.1.5 中所规定的项目进行测量。

1.1.2.1.5 测量

应进行以下测量：

- a) 集热器总面积 A_G 、吸热体面积 A_A 和采光面积 A_a ；
- b) 工质容量；
- c) 集热器采光口上的总日射辐照度；
- d) 集热器采光口上的漫射日射辐照度；

- e) 直接日射入射角;
- f) 环境空气速度;
- g) 环境空气温度;
- h) 集热器进口工质温度;
- i) 集热器出口工质温度;
- j) 工质流量。

1.1.2.1.6 试验周期（稳态）

稳态数据点的试验周期应包括至少 15 min 的预备期和至少 15 min 的稳态测量期。

在任何情况下，稳态试验周期应大于集热器有效热容量 C 与工质热流量 mc_f 之比的 4 倍（有效热容量测定见第 10 章）

如果试验参数偏离它们在试验周期内的平均值若不超过表 1-2 规定的范围，则可认为在给定试验周期内集热器处于稳态工况。

表 1-2 试验周期内测量参数的允许偏离范围

参 数	平均值允许偏离范围
日射辐照度	$\pm 50\text{W/m}^2$
环境空气温度	$\pm 1\text{K}$
工质质量流量	$\pm 1\%$
集热器进口工质温度	$\pm 0.1\text{K}$

1.1.2.1.7 试验结果的表示

应对测量结果进行整理，从而产生出一组满足稳态运行试验条件的数据点。

1.1.2.1.8 集热器效率的计算

在稳态条件下运行的太阳集热器的瞬时效率 h (或 \bar{h}) 定义为集热器实际获得的有用功率与集热器接收的太阳辐射功率之比。

实际获得的有用功率 \dot{Q} 由下式计算：

$$\dot{Q} = \dot{m}c_f \Delta T \quad \dots\dots\dots (36)$$

式中应使用与平均工质温度相对应的 c_f 值。

若 \dot{m} 是由体积流量测得，则密度应由流量计中的工质温度确定。

1.1.2.1.8.1 集热器接收的太阳能

对于单层玻璃平板集热器，若入射角小于 30°，就不需使用入射角修正系数。

当以集热器总面积为参考时，集热器接收的太阳辐射功率为 $A_G G$ ；故

$$h_G = \frac{\dot{Q}}{A_G G} \dots\dots\dots (37)$$

当以集热器采光面积为参考时，集热器接收的太阳辐射功率为 $A_A G$ ；故

$$h_a = \frac{\dot{Q}}{A_A G} \dots\dots\dots (38)$$

1.1.2.1.8.2 归一化温差

瞬时效率 h (或 \bar{h}) 是由归一化温差 T^* 的函数图形方式表示出来。

当应用传热工质平均温度 t_m 时

$$t_m = t_i + \frac{\Delta T}{2} \dots\dots\dots (39)$$

归一化温差可计算为

$$T_m^* = \frac{t_m - t_a}{G} \dots\dots\dots (40)$$

若使用集热器进口温度，归一化温差可计算为

$$T_i^* = \frac{t_i - t_a}{G} \dots\dots\dots (41)$$

1.1.2.1.8.3 瞬时效率的形表示

瞬时效率 h (或 \bar{h}) 的图形应利用最小二乘法进行曲线拟合得出，由以下公式获得瞬时效率曲线：

$$h = h_0 - a_1 T^* - a_2 G (T^*)^2 \dots\dots\dots (42)$$

或

$$h = h_0 - UT^* \dots\dots\dots (43)$$

应根据拟合的紧密程度来选择一次或二次曲线。如果 a_2 的计算值是负数，则不应选用二次拟合。

二次拟合所用的 G 值应为 800 W/m^2 。

在漫射日射辐照度大于总日射辐照度 20% 条件下测得的数据点，应修正到等

效法向日射辐照度。若漫射日射辐照度小于 20%，则可以忽略其影响。

以下条款为集热器面积（总面积、吸热体面积）和归一化温差（ T_m^* 、 T_i^* ）相组合的四种情况提了瞬时效率的计算式。

1.1.2.1.8.3.1 基于集热器总面积的瞬时效率

利用归一化温差 T_m^* 可给出下列两个方程：

$$\bar{h}_G = \bar{h}_{0G} - \bar{U}_G \frac{t_m - t_a}{G} \quad \dots\dots\dots (44)$$

或

$$\bar{h}_G = \bar{h}_{0G} - \bar{a}_{1G} \frac{t_m - t_a}{G} - a_{2G} G \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (45)$$

式中：

$$\bar{h}_G = \frac{\dot{Q}}{A_G G} \quad \dots\dots\dots (46)$$

若用归一化温差 T_i^* ，瞬时效率公式为

$$h_G = h_{0G} - U_G \frac{t_i - t_a}{G} \quad \dots\dots\dots (47)$$

或

$$h_G = h_{0G} - a_{1G} \frac{t_i - t_a}{G} - a_{2G} G \left(\frac{t_i - t_a}{G} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (48)$$

式中：

$$h_G = \frac{\dot{Q}}{A_G G} \quad \dots\dots\dots (49)$$

1.1.2.1.8.3.2 基于采光面积的瞬时效率

以归一化温差 T_m^* 为参照的瞬时效率方程为

$$\bar{h}_a = \bar{h}_{0G} - \bar{U}_a \frac{t_m - t_a}{G} \quad \dots\dots\dots (50)$$

或

$$\bar{h}_a = \bar{h}_a - \bar{a}_{1a} \frac{t_m - t_a}{G} - \bar{a}_{2a} G \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (51)$$

式中：

$$\bar{h}_G = \frac{\dot{Q}}{A_a G} \dots\dots\dots (52)$$

使用归一化温差 t_i^* ，瞬时效率方程为

$$h_a = h_{0a} - U_a \frac{t_i - t_a}{G} \dots\dots\dots (53)$$

或

$$h_a = h_{0a} - a_{1a} \frac{t_i - t_a}{G} - a_{2a} G \left(\frac{t_i - t_a}{G} \right)^2 \dots\dots\dots (54)$$

式中：

$$h_a = \frac{\dot{Q}}{A_a G} \dots\dots\dots (55)$$

1.1.2.2 欧盟标准中太阳能集热器热性能测试原理与方法

1.1.2.2.1 测试装置

传热工质应从集热器的底部流到顶部或按厂家的要求进行。

1.1.2.2.2 集热器的准备

应对集热器进行外观检查，并记录损坏程度。应彻底清洁集热器的采光盖板。如果集热器的部件上有水汽，应使用 80℃ 左右的传热工质在集热器中循环一段时间，以烘干保温材料和集热器外壳。

如果采取以上措施，则应在测试报告中加以说明。必要时，应使用放气阀或使工质在环路中高速循环，以排出管道中聚集的气体。应通过环路中的透明管来观察工质中是否混有气体或杂质，若有应排除干净。

若客户只希望进行热性能测试而不进行其它性能测试，应将空集热器放置在大于 700W/m² 辐照度下空晒 5 小时。

1.1.2.2.3 测试条件

在测试期间，集热器采光面上的总日射辐照度应大于 700W/m²。

注 1：若厂家规定了最大的总日射辐照度且又不小于 800W/m²，此要求应加到测试中去，并在测试报告中详细注明。

集热器采光口上的直接日射入射角应在垂直入射时的入射角修正系数值 ±2% 的范围内。对于单层玻璃的集热器，如果在集热器采光口上的直接日射入射角小于 20°，则以上条件就可以满足。

对于特殊设计的集热器，需要更小的入射角。为了表示其入射角的性能，可以用入射角修正系数来确定。

如果散射辐射小于 30%，它的影响可以被忽略。集热器不能在散射辐射大于 30% 时进行测试。

考虑到测试期间集热器空间和时间的变化，平行于集热器采光面的环境平均风速应为 $3\text{m/s} \pm 1\text{m/s}$ 。

除非另有声明，工质流量应根据集热器面积设定在 $0.02\text{kg/m}^2\text{s}$ 左右。在每个测试周期内，流量应稳定在设定值的 $\pm 1\%$ 以内。不同周期的流量变化应不超过设定值的 $\pm 10\%$ 。

其它流量下的测试应根据相关生产厂家说明书所推荐的值进行。

对于一些集热器，所推荐的流量可能靠近层流和紊流之间的过渡区。这将造成内部传热系数的不稳定和所测集热器热效率的变化。因此应提高所推荐的流量以复现集热器的热性能，并在测试报告中明确指出。

注 2：在过渡区，首先应将流量设为高值（紊流区）然后再逐渐减小到设定值。这样在测试中就可以避免从层流到紊流过渡现象的发生。

由于仪器准确度的问题，小于 1K 的工质温差的测量结果可以不予记录。

1.1.2.2.4 测试程序

为了测定集热器的效率曲线，集热器测试应在晴朗的天气条件下集热器工作温度的范围内进行。对于下述满足条件的数据点的选取，应在集热器工作温度范围内至少取四个间隔均匀的工质进口温度。为了获得 η_0 ，其中一个进口温度应使集热器的平均进口温度与环境温度之差在 $\pm 3\text{K}$ 以内。如果以水作为传热工质，最高温度至少应设定在 80°C 左右。如果是实验条件允许的话， T_m 的最大值不应小于 0.09。

对于每个工质进口温度，至少取四个独立的数据点，总共给出 16 个数据点。如果条件允许，每一工质进口温度分别在午前和午后取相等数的数据点。如果采用跟踪太阳的方位角和高度角的方法自动跟踪集热器，则对后一条不作要求。

在测试期间，应按 1.1.2.2.5 中所规定的进行测量。然后可从得到的有效数据点确定测试周期。

1.1.2.2.5 测量

应进行以下参数的测量：

- 集热器总面积 A_G 、吸热体面积 A_A 和采光面积 A_a ；
- 工质容量；
- 集热器采光口上的总日射辐照度；
- 集热器采光口上的漫射日射辐照度（仅适用于室外检测）；
- 直接辐射入射角（此值也可以由计算得出）；
- 与集热器采光面平行的风速；
- 环境空气温度；
- 集热器传热工质进口温度；
- 集热器传热工质出口温度；
- 传热工质流量。

1.1.2.2.6 测试周期（稳态）

稳态数据点的测试周期应包括至少集热器 4 倍时间常数（如果已知）或至少 15 分钟（如果时间常数未知）的预备期和至少 4 倍时间常数（如果已知）或至少 15 分钟（如果时间常数未知）的稳态测量期。

如果测试参数偏离它们在测试周期的平均值不超过表 1-3 规定的范围，则可认为在给定测试周期内集热器处于稳态工况。在连续 30 秒内所取参数的平均值应处于测试周期内参数平均值允许偏离的范围内，以验证稳态的建立。

表 1-3 测试周期内测量参数的允许偏离范围

参数	平均值允许偏离范围
日射辐照度	$\pm 50 \text{W/m}^2$
环境空气温度（室内）	$\pm 1 \text{K}$
环境空气温度（室外）	$\pm 1.5 \text{K}$
工质质量流量	$\pm 1\%$
集热器进口工质温度	$\pm 0.1 \text{K}$

1.1.2.2.7 测试结果的表示

应对测量结果进行整理，从而产生出一组满足稳态运行测试条件（见 6.1.4.3）的数据点。这些数据点应使用附录 D 给出的表格表示出来。

1.1.2.2.8 集热器输出的计算

1.1.2.2.8.1 总则

实际获得的有用能量 \dot{Q} 由下式计算：

$$\dot{Q} = \dot{m}c_f\Delta T \dots\dots\dots (56)$$

式中应使用与平均工质温度相对应的 c_f 。如果 m 为体积流量，应得到与流量表中工质温度相对应的工质密度。

1.1.2.2.8.2 集热器接受的太阳能

对于单层盖板平板集热器，按集热器入射角修正系数的规定：若入射角小于 20° ，则不需要入射角修正系数。

当以集热器吸热体/采光面积为基准时，集热器接受的太阳辐射功率为 AG ，当引入集热器效率后，则实际获得的有用能量 \dot{Q} 可以表示如下：

$$\dot{Q} = AGh \dots\dots\dots (57)$$

1.1.2.2.8.3 归一化温差

当应用传热工质的平均温度 T_m 时，

$$t_m = t_{in} + \frac{\Delta T}{2} \dots\dots\dots (58)$$

归一化温差可表示为，

$$T_m^* = \frac{t_m - t_a}{G} \dots\dots\dots (59)$$

1.1.2.2.8.4 瞬时效率的模型

1.1.2.2.8.4.1 总则

瞬时效率 h 可利用最小二乘法进行曲线拟合得出，下面是瞬时效率曲线的公式，

$$h = h_0 - a_1T_m^* - a_2G(T_m^*)^2 \dots\dots\dots (60)$$

一般情况下应选用二次拟合回归曲线。如果 a_2 的值为负数，则不选用二次拟合。二次拟合所使用的 G 值应为 $800W/m^2$ 。

必要时，应给出集热器性能检测数据表。

1.1.2.2.8.4.2 基于集热器吸热体面积/采光面积的瞬时效率

以归一化温差 T_m^* 为参考的瞬时效率公式为，

$$h = h_0 - a_1 \frac{t_m - t_a}{G} - a_2 G \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right)^2 \dots\dots\dots (61)$$

1.1.2.2.8.4.3 所测热性能的转换

热性能可用如下基本公式转换,

$$h_{0A} = h_{0a} \frac{A_a}{A_A} \dots\dots\dots (62)$$

$$a_{1A} = a_{1a} \frac{A_a}{A_A} \dots\dots\dots (63)$$

$$a_{2A} = a_{2a} \frac{A_a}{A_A} \dots\dots\dots (64)$$

1.1.2.2.8.5 集热器热输出

结合式 (57) 和 (61), 集热器的单位热量输出可以用下式表示:

$$\dot{Q} = AG \left(h_0 - a_1 \frac{t_m - t_a}{G} - a_2 G \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right)^2 \right) \dots\dots\dots (65)$$

其中 A_A 是吸热体面积, A_a 是采光面积。

集热器的单位热量输出是平均热流温度和周围环境温差 ($t_m - t_a$) 的函数,

其中 $G = 1000 \text{W/m}^2$ 。乘积 AGh_0 就是 W_{peak} 。

1.1.2.3 澳大利亚/新西兰标准中太阳能集热器热性能测试原理与方法

等同于国际标准中太阳能集热器热性能测试原理与方法。

1.1.2.4 国内外标准的太阳能集热器热性能测试原理与方法的差异性分析

通过上面的对比分析可以知道, 对于国内外太阳能集热器的热性能测试方法基本原理上差别不大, 只是在一些测试条件和数据处理上略有不同, 具体的差别见下表, 由于澳大利亚/新西兰标准和国际标准的太阳能集热器热性能测试原理与方法完全相同, 在这里合并做同一标准分析。

项目	国家标准	国际标准 (澳大利亚/新西兰标准)	欧盟标准
集热器准备	<p>试验前应对集热器进行外观检查，并做好记录。</p> <p>试验前应对集热器采光口的盖板表面、真空管表面或反射器表面进行彻底清洁。</p> <p>如果集热器部件上有水汽，应使用80℃左右的传热工质在集热器中循环一段时间，烘干隔热材料和集热器外壳。如果进行该项处理，应在检测报告中加以说明。</p> <p>必要时，可以使用排气阀或使工质在管道中快速循环，来排出集热器管道中聚集的气体。</p> <p>通过回路中的透明管来观察工质中是否混有气体或杂质。</p>	<p>在试验前应对集热器进行外观检查，并记录损坏程度。</p> <p>应彻底清洁集热器采光口的盖板。</p> <p>如果集热器部件上有水汽，应使用80℃左右的传热工质在集热器中循环一段时间，以便烘干隔热材料和集热器外壳。如果进行该项处理，应在试验报告中加以说明。</p> <p>必要时，应使用排气阀或使工质在管道中高速循环，以排出集热器管道中聚集的气体。</p> <p>应通过回路中的透明管来观察工质中是否有气体或杂质，若有应排净。</p>	<p>应对集热器进行外观检查，并记录损坏程度。应彻底清洁集热器的采光盖板。如果集热器的部件上有水汽，应使用80℃左右的传热工质在集热器中循环一段时间，以烘干保温材料和集热器外壳。</p> <p>如果采取以上措施，则应在测试报告中加以说明。必要时，应使用排气阀或使工质在环路中高速循环，以排出管道中聚集的气体。应通过环路中的透明管来观察工质中是否混有气体或杂质，若有应排除干净。</p> <p>若客户只希望进行热性能测试而不进行其它性能测试，应将空集热器放置在大于700W/m²辐照度下空晒5小时。</p>

<p>试验条件</p>	<p>试验期间，集热器采光面上的总太阳辐照度应不小于 $700\text{W}/\text{m}^2$，试验期间总太阳辐照度的变化应不大于 $\pm 50\text{W}/\text{m}^2$。</p> <p>试验期间，周围环境空气速度不应高于 $4\text{m}/\text{s}$。</p> <p>工质质量流量可以根据生产厂家推荐的流量值进行试验。当厂家没有声明时，工质质量流量可根据集热器总面积设定在 $0.02\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$。在每个试验周期内，流量应稳定在设定值的 $\pm 1\%$ 以内。不同试验周期的流量变化应不超过设定值的 10%。</p> <p>由于仪器准确度的问题，工质温差小于 1.5°C 的测量结果可不予记录。</p>	<p>在试验期间，集热器采光面上的总日射辐照度应不小于 $800\text{W}/\text{m}^2$。</p> <p>集热器采光口上的直接日射入射角应在垂直入射时入射角修正系数值 $\pm 2\%$ 的角度范围之内。对于单层玻璃的集热器，如果在集热器采光口上的直接日射入射角小于 30°，就能满足以上条件。对于特定设计的集热器，需要更小的入射角。为了表示其他入射角时的集热器性能，可用一个入射角修正系数来确定。</p> <p>集热器周围环境的平均风速应在 $2\sim 4\text{m}/\text{s}$ 之间。</p> <p>除另有声明，工质流量应根据集热器总面积设定在 $0.02\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$ 左右。在每个试验周期内，流量应稳定在设定值的 $\pm 1\%$ 以内。不同试验周期的流量变化应不超过设定值的 10%。</p> <p>由于仪器准确度的问题，小于 1.5K 的工质温差测量结果可不予记录。</p>	<p>在测试期间，集热器采光面上的总日射辐照度应大于 $700\text{W}/\text{m}^2$。</p> <p>集热器采光口上的直接日射入射角应在垂直入射时的入射角修正系数值 $\pm 2\%$ 的范围内。对于单层玻璃的集热器，如果在集热器采光口上的直接日射入射角小于 20°，则以上条件就可以满足。</p> <p>考虑到测试期间集热器空间和时间的变化，平行于集热器采光面的环境平均风速应为 $3\text{m}/\text{s}\pm 1\text{m}/\text{s}$。</p> <p>除非另有声明，工质流量应根据集热器面积设定在 $0.02\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$ 左右。在每个测试周期内，流量应稳定在设定值的 $\pm 1\%$ 以内。不同周期的流量变化应不超过设定值的 $\pm 10\%$。</p> <p>由于仪器准确度的问题，小于 1K 的工质温差的测量结果可以不予记录。</p>
-------------	---	--	---

<p>试验程序</p>	<p>为了测定集热器的效率特性，集热器试验应在晴朗天气条件下集热器的工作温度范围内进行。</p> <p>对于数据点的选取，应在集热器工作温度范围内至少取四个间隔均匀的工质进口温度。为了获得h_0，其中一个进口温度应使集热器工质平均温度与环境空气温度之差在$\pm 3^\circ\text{C}$之内。</p> <p>应根据集热器的最高工作温度确定最高工质进口温度，对于平板型集热器，集热器最高进口温度不应超过 70°C，对于真空管型集热器，最高进口温度与环境温度之差应大于 40°C。</p> <p>对每个工质进口温度至少取四个独立的数据点，每个瞬时效率点的测定时间间隔应不少于 3min。</p>	<p>为了测定集热器的效率特性，集热器试验应在晴朗天气条件下集热器的工作温度范围内进行。</p> <p>对于数据点的选取，应在集热器工作温度范围内至少取四个间隔均匀的工质进口温度。为了获得h_0，其中一个进口温度应使平均工质温度与环境空气温度之差在$\pm 3\text{ K}$之内（如果传热工质为水，一般最高温度为 70°C）。</p> <p>对每个工质进口温度至少取四个独立的数据点，从而总共给出 16 个数据点。</p>	<p>为了测定集热器的效率曲线，集热器测试应在晴朗的天气条件下集热器工作温度的范围内进行。</p> <p>对于下述满足条件的数据点的选取，应在集热器工作温度范围内至少取四个间隔均匀的工质进口温度。为了获得 η_0，其中一个进口温度应使集热器的平均进口温度与环境温度之差在$\pm 3\text{K}$ 以内。如果以水作为传热工质，最高温度至少应设定在 80°C左右。如果是实验条件允许的话，T_m° 的最大值不应小于 0.09。</p> <p>对于每个工质进口温度，至少取四个独立的数据点，总共给出 16 个数据点。如果条件允许，每一工质进口温度分别在午前和午后取相等数的数据点。如果采用跟踪太阳的方位角和高度角的方法自动跟踪集热器，则对后一条不作要求。</p>
-------------	---	---	--

<p>试验周期（稳态）</p>	<p>稳态数据点的试验周期应包括至少 12min 的预备期和至少 12min 的稳态测量期。</p> <p>在任何情况下，稳态试验周期应大于集热器有效热容量 C 与工质热流量 $\dot{m}c_f$ 之比的 4 倍。</p> <table border="1" data-bbox="436 598 963 861"> <thead> <tr> <th>参数</th> <th>平均值允许便宜范围</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>太阳辐照度</td> <td>$\pm 50\text{W/m}^2$</td> </tr> <tr> <td>环境空气温度</td> <td>$\pm 1^\circ\text{C}$</td> </tr> <tr> <td>工质质量流量</td> <td>$\pm 1\%$</td> </tr> <tr> <td>集热器进口温度</td> <td>$\pm 0.1^\circ\text{C}$</td> </tr> </tbody> </table>	参数	平均值允许便宜范围	太阳辐照度	$\pm 50\text{W/m}^2$	环境空气温度	$\pm 1^\circ\text{C}$	工质质量流量	$\pm 1\%$	集热器进口温度	$\pm 0.1^\circ\text{C}$	<p>稳态数据点的试验周期应包括至少 15 min 的预备期和至少 15 min 的稳态测量期。</p> <p>在任何情况下，稳态试验周期应大于集热器有效热容量 C 与工质热流量 $\dot{m}c_f$ 之比的 4 倍（有效热容量测定见第 10 章）</p> <table border="1" data-bbox="981 574 1507 837"> <thead> <tr> <th>参数</th> <th>平均值允许便宜范围</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>太阳辐照度</td> <td>$\pm 50\text{W/m}^2$</td> </tr> <tr> <td>环境空气温度</td> <td>$\pm 1\text{K}$</td> </tr> <tr> <td>工质质量流量</td> <td>$\pm 1\%$</td> </tr> <tr> <td>集热器进口温度</td> <td>$\pm 0.1\text{K}$</td> </tr> </tbody> </table>	参数	平均值允许便宜范围	太阳辐照度	$\pm 50\text{W/m}^2$	环境空气温度	$\pm 1\text{K}$	工质质量流量	$\pm 1\%$	集热器进口温度	$\pm 0.1\text{K}$	<p>稳态数据点的测试周期应包括至少集热器 4 倍时间常数（如果已知）或至少 15 分钟（如果时间常数未知）的预备期和至少 4 倍时间常数（如果已知）或至少 15 分钟（如果时间常数未知）的稳态测量期。</p> <table border="1" data-bbox="1525 550 2047 861"> <thead> <tr> <th>参数</th> <th>平均值允许便宜范围</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>太阳辐照度</td> <td>$\pm 50\text{W/m}^2$</td> </tr> <tr> <td>环境空气温度(内)</td> <td>$\pm 1\text{K}$</td> </tr> <tr> <td>环境空气温度(外)</td> <td>$\pm 1.5\text{K}$</td> </tr> <tr> <td>工质质量流量</td> <td>$\pm 1\%$</td> </tr> <tr> <td>集热器进口温度</td> <td>$\pm 0.1\text{K}$</td> </tr> </tbody> </table>	参数	平均值允许便宜范围	太阳辐照度	$\pm 50\text{W/m}^2$	环境空气温度(内)	$\pm 1\text{K}$	环境空气温度(外)	$\pm 1.5\text{K}$	工质质量流量	$\pm 1\%$	集热器进口温度	$\pm 0.1\text{K}$
参数	平均值允许便宜范围																																		
太阳辐照度	$\pm 50\text{W/m}^2$																																		
环境空气温度	$\pm 1^\circ\text{C}$																																		
工质质量流量	$\pm 1\%$																																		
集热器进口温度	$\pm 0.1^\circ\text{C}$																																		
参数	平均值允许便宜范围																																		
太阳辐照度	$\pm 50\text{W/m}^2$																																		
环境空气温度	$\pm 1\text{K}$																																		
工质质量流量	$\pm 1\%$																																		
集热器进口温度	$\pm 0.1\text{K}$																																		
参数	平均值允许便宜范围																																		
太阳辐照度	$\pm 50\text{W/m}^2$																																		
环境空气温度(内)	$\pm 1\text{K}$																																		
环境空气温度(外)	$\pm 1.5\text{K}$																																		
工质质量流量	$\pm 1\%$																																		
集热器进口温度	$\pm 0.1\text{K}$																																		
<p>对散射辐射的要求</p>	<p>对于平板型集热器，在散射太阳辐照度大于总辐照度 30% 条件下测得的数据点，应修正到等效法向日射辐照度。若散射太阳辐照度小于 30%，则可以忽略其影响。对于真空管型集热器，则不必考虑散射太阳辐照对集热器效率的影响。</p>	<p>在漫射日射辐照度大于总日射辐照度 20% 条件下测得的数据点，应修正到等效法向日射辐照度。若漫射日射辐照度小于 20%，则可以忽略其影响。</p>	<p>如果散射辐射小于 30%，它的影响可以被忽略。集热器不能在散射辐射大于 30% 时进行测试。</p>																																

1.2 国内外太阳能集热器热性能数据分析

集热器可以分为两大类，一类是真空管型太阳能集热器，一类是平板型太阳能集热器，在热性能方面，真空管型太阳能集热器和平板型太阳能集热器各有优缺点，前一种集热器一般冬季效果较好，后者在夏天则效果较好，从全年效果来看，这两种集热器提供有用得热量相差无几，如图 1 所示为典型的两种集热器的曲线：

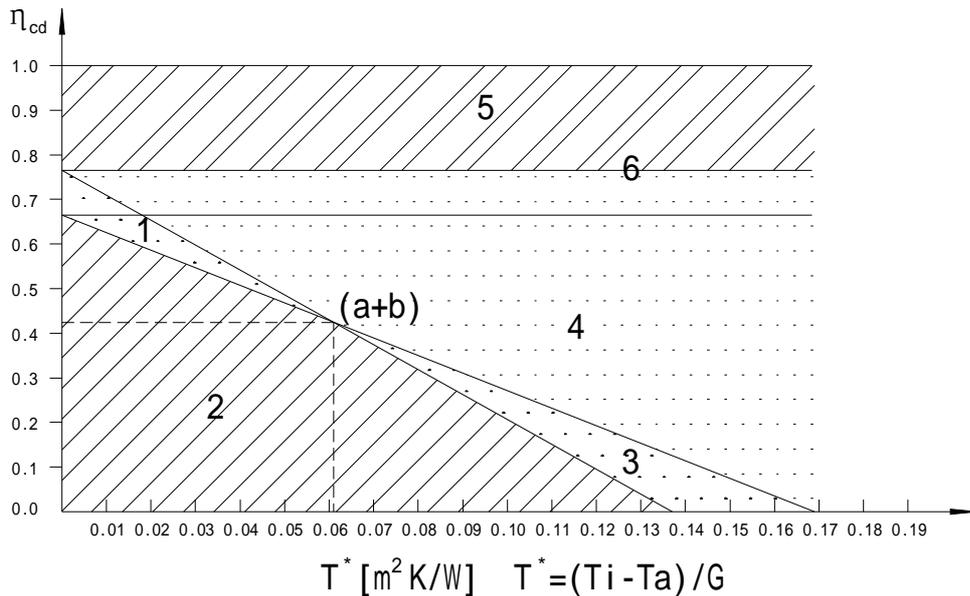


图 1 集热器曲线示意

图中：纵坐标为集热器效率，横坐标为 T^* ；

T^* ——归一化温差；

T_i ——集热器入口温度；

T_a ——室外空气温度；

G ——太阳辐照度；

面积 1+面积 2——可以理解为平板型集热器年有用得热量；

面积 2+面积 3——有用得热因子，可以理解为表征真空管型集热器年有用得热量；

面积 4+面积 3——平板型集热器热损失；

面积 4+面积 1——真空型集热器热损失；

面积 5——平板型集热器光学损失；

面积 6——真空管型集热器光学损失。

当 $T^* = a$ 时，两种集热器效率相等；

当 $T^* < a$ 时，工质温度与环境温度相差加大，平板型集热器效率<真空型集热器效率

当 $T^* > a$ 时，工质温度与环境温度相差减小，平板型集热器效率>真空型集热器效率

真空管型集热器的有用得热为：面积 1+面积 2，平板型集热器的有用得热则为面积 2+面积 3。可以看出这两种集热器的有用得热量相差不大。

1.2.1 国内真空管型太阳能集热器热性能数据分析

1.2.1.1 U 型真空管型太阳能集热器热性能数据分析

序号	规格型号	采光面积 (m ²)	总面积 (m ²)	η	U
1	NPU-16	1.09	1.38	0.692	4.05
2	SLU-1500/16	1.37	/	0.672	2.30
3	QZB-C14AG	0.94	1.68	0.650	2.45
4	LPDHWS-1.5W (1521)-Y	1.43	2.38	0.760	2.30
5	Φ58×1800×12 支	1.20	1.88	0.712	4.23
6	NPU-WF-16-1	1.08	1.67	0.688	3.166
7	SLU 4715-16	1.39	1.72	0.668	2.189
8	SLU 4715-12	1.03	1.25	0.695	3.038
9	BJ-YF-3/18-1	3.03	3.42	0.641	2.328
10	Z-BJ/0.6-WF- 1.6/8-100/II	1.54	3.34	0.714	2.878
11	SC-U47-1500-28	1.90	4.32	0.828	6.460
12	QB-YF-3.0/18-1	3.02	3.42	0.646	2.067
13	U-16/58-1800	1.62	2.34	0.738	2.444
14	YORON 20	1.96	2.36	0.742	4.330
15	Z-QB/0.6-WF- 1.1/1.2-58/11	1.21	2.31	0.790	2.782
16	Z-QB/0.6-WF- 1.5/1.6-58/11	1.61	3.03	0.809	2.972
17	Z-BJ/0.6-WF- 2.6/20-58/1	2.01	2.99	0.749	4.644
平均		/	/	0.717	3.213

1.2.1.2 热管型真空管型太阳能集热器热性能数据分析

序号	规格型号	采光面积 (m ²)	总面积 (m ²)	η	U
1	YDJR-58-20	2.00	/	0.679	3.06
2	HP-16	1.09	1.69	0.695	2.48
3	QZB-CR10BG	0.83	1.67	0.665	5.90
4	TYR- Φ 58 \times 1800 \times 20	1.98	2.87	0.603	2.27
5	SCM 系列	1.51	2.29	0.631	5.30
6	TYR- Φ 58 \times 1800 \times 20	1.98	2.87	0.603	2.27
7	Φ 58 \times 1800 \times 12	1.20	1.82	0.856	4.97
8	QR- Φ 58 \times 1800 \times 20	1.98	2.87	0.603	2.27
9	CP-RG-WF-0.2/8-2	1.54	1.99	0.555	3.144
10	Powersol VRSK 10 HP	1.16	2.06	0.708	5.234
11	Φ 58 \times 2100 \times 9	1.07	1.87	0.742	5.439
12	CP-RG-WF-0.2/8-2	1.54	1.99	0.458	6.508
13	CP-BJ-WF-0.2/8-2	1.54	2.03	0.786	4.185
14	LN-RG-WF-1.20/12- 58/1800-A1	1.21	1.82	0.606	2.389
15	LN-RG-WF-0.85/12- 47/1500-A1	0.82	1.39	0.760	2.363
16	LN-RG-WF-1.20/12- 58/1800-B1	1.21	1.82	0.675	2.308
17	SRHP-14	1.41	2.41	0.630	5.665
18	FC-58/1800-16	1.61	2.51	0.825	6.679
19	FC-58/1800-16	1.61	2.51	0.821	5.127
20	BJ-YF-3/18-1	1.39	1.72	0.661	2.320
21	HP-16/58-1800	1.62	2.34	0.768	2.361
22	JRE- Φ 58*1.8*12	1.21	1.83	0.634	2.314
平均		/	/	0.680	3.843

1.2.1.3 全玻璃真空管型太阳能集热器热性能数据分析

序号	规格型号	采光面积 (m ²)	总面积 (m ²)	η	U
1	LPPGH47-3 (1530)-WY	2.02	3.34	0.654	8.07
2	LPPGH-3 (1518)-CY	3.00	3.41	0.696	5.30
3	Φ 47 \times 1500 \times 18	1.20	2.23	0.593	5.47
4	TM5816SFQ	1.60	2.73	0.642	6.711
5	CP-QB-YF-	3.70	6.20	0.657	2.388

	0.11/56-1				
6	SPQBJ-56	3.70	6.20	0.656	2.407
7	Z-QB-WF- 2.5/20-47/1	1.30	2.72	0.676	4.94
8	Φ58-1.8-25	2.48	3.90	0.666	5.833
9	Φ47×1500 双排 50 支	3.25	5.69	0.638	2.470
10	DR-GL-58-2000	2.76	4.46	0.552	7.095
11	QB 47×1500×60	3.99	6.26	0.631	2.426
12	QB-WF-56-1	3.69	6.00	0.694	2.086
13	SLL 4715-50	3.32	5.89	0.734	1.875
14	TP Φ58/1800×12	1.15	2.06	0.551	6.346
15	TP 47/1500×56	3.71	6.23	0.661	2.663
16	Z-QB-WF- 4.25/52-58/1	4.18	6.89	0.696	2.413
17	Z-QB/0.05-WF- 5.50/50-47/2	3.58	6.28	0.645	2.629
18	Z-QB/0.05-WF- 2.62/25-47/1	1.79	3.33	0.637	3.611
19	TYMK 47/1600/50	3.57	6.28	0.757	2.276
20	Z-QB/0.05-WF- 5.7/56-47/I	3.69	6.19	0.658	2.381
21	Φ47×1500×50	3.29	5.78	0.692	1.986
22	YH 47/1500×56	3.71	6.23	0.661	2.663
23	MGMK 47/1600/50	3.57	6.28	0.757	2.276
24	JPS-30TX21-50°	3.51	6.27	0.747	5.934
25	Z-QB/0.05-WF- 3.7/56-47	3.66	6.91	0.752	2.832
26	HSL 4715-50-D/H	3.32	6.26	0.690	2.185
27	W-56	3.74	6.20	0.724	2.084
28	W-50	3.34	6.20	0.714	2.370
29	QB-6.0/60	4.23	6.06	0.708	2.770
	平均	/	/	0.674	3.603

1.2.1.4 玻璃金属封接式真空管型太阳能集热器热性能数据分析

序号	规格型号	采光面积 (m ²)	总面积 (m ²)	η	U
1	Powersol VRSK 10 DF	1.16	2.06	0.743	3.617
2	C ₃ -SD1×8L	1.54	1.99	0.649	5.094

3	C ₃ -SD1×8L	1.55	1.99	0.605	2.146
4	Z-RG/0.6-WF- 2/8-100/I	1.54	2.09	0.458	6.508
5	Z-BJ/0.6-WF- 2/8-100/I	1.54	3.34	0.767	3.675
6	Z-RG/0.6-WF- 1.6/8-100/1	1.56	2.28	0.771	2.949
平均		/	/	0.666	3.675

1.2.1.5 不同类型真空管型太阳能集热器热性能数据差异性分析

根据 1.2.1.1~1.2.1.4 国内不同类型真空管型太阳能集热器热性能数据分析看出，U 型真空管型太阳能集热器热性能数据最好为： $\eta=0.717$ ， $U=3.213$ ；玻璃金属封接式真空管型太阳能集热器最差为： $\eta=0.666$ ， $U=3.675$ 。图 2、图 3 分别列出各种类型集热器数据与国家标准规定值比较。

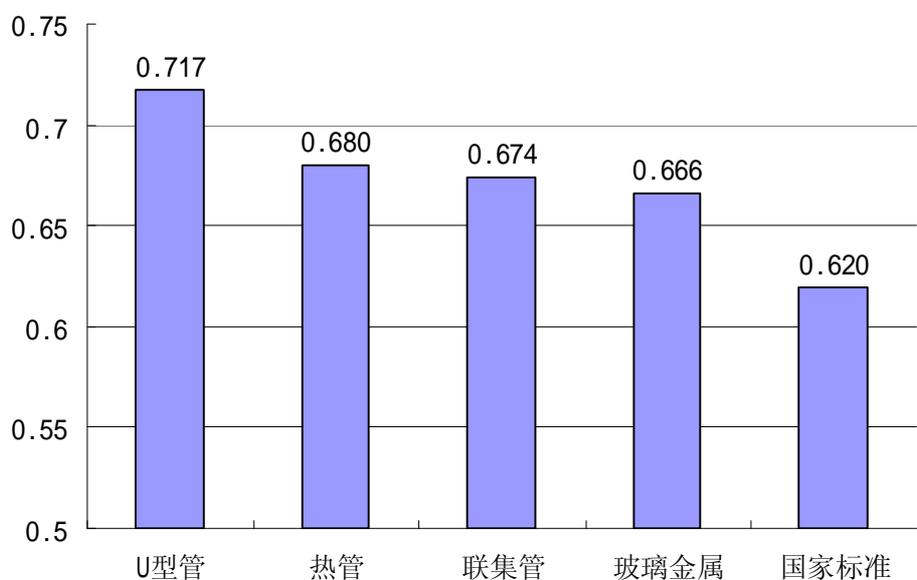


图 2 真空管型太阳能集热器截距数据比较

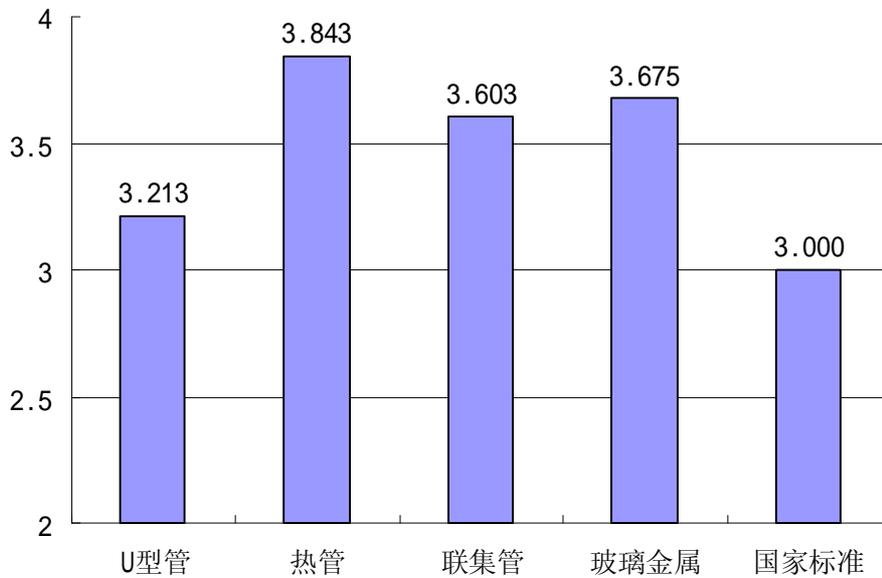


图 3 真空管型太阳能集热器热损数据比较

四种不同类型真空管型太阳能集热器 η 值均高于国家标准要求的无反射器的真空管型太阳能集热器的瞬时效率截距 η 应不低于 0.62, 有反射器的真空管型太阳能集热器的瞬时效率截距 η 应不低于 0.52; 而 U 值则低于国家标准要求的无反射器的真空管型太阳能集热器总热损系数 U 应不大于 $3.0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, 有反射器的真空管型太阳能集热器总热损系数 U 应不大于 $2.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 。

从上面的分析可以了解国内真空管型太阳能集热器的热性能情况,从数据分析结果来看,U 型管式真空管型太阳能集热器热性能曲线的截距和热损系数均优于其它类型的真空管型太阳能集热器,但是热损系数还未完全达到国家标准要求。

1.2.2 国内平板型太阳能集热器热性能数据分析

序号	规格型号	采光面积 (m ²)	总面积 (m ²)	η	U
1	PGL-2.0-3	1.83	2.00	0.770	5.28
2	2m ² /块	1.83	2.00	0.689	8.42
3	1000×2000	1.83	2.00	0.751	7.09
4	1000×2000	1.83	2.00	0.766	4.28
5	2m ² /块	1.83	2.00	0.732	5.68
6	2000×1000×80mm	1.83	2.00	0.740	5.43
7	1000×2000	1.83	2.00	0.764	5.38
8	1000×2000	1.83	2.00	0.726	6.12

9	WLY-2.0/75 2000×1000×76-B	1.83	2.00	0.762	5.38
10	WLY-2.0/75 2000×1000×75-A	1.83	2.00	0.842	9.65
11	EL-PG2.0	1.83	2.00	0.657	5.66
12	1000×2000	1.83	2.00	0.764	5.38
13	1000×2000	1.83	2.00	0.703	5.89
14	XP	1.21	1.34	0.881	14.01
15	Schueco Sol S	1.89	2.05	0.742	5.90
16	/	1.79	2.29	0.754	16.74
17	2米×1米	1.83	2.00	0.756	15.94
18	CCI-1	1.83	2.00	0.721	5.99
19	2米×1米	1.83	2.00	0.686	5.63
20	CP-P-G/1.6- T/JDT-2.0	1.99	2.22	0.701	5.477
21	PY T/L2.0-3	1.87	2.00	0.778	5.276
22	Powersol FK 2000	1.81	2.00	0.767	6.024
23	Powersol FK 3000	1.81	2.00	0.811	6.931
24	QS-07	1.97	2.24	0.751	9.98
25	CP-PY-TL-2- II	1.83	2.00	0.684	5.105
26	2米*1米	1.87	2.00	0.719	5.388
27	HN1P-2	1.83	2.00	0.581	6.411
28	2m ²	1.58	2.43	0.680	5.405
29	LY-P-G/0.6- TL/YJ-2.0	1.87	2.00	0.723	8.618
30	P-TL-2.0	1.88	2.00	0.695	4.848
31	auro THERM VFK990/1	2.02	2.24	0.690	4.132
32	SKN 3.0-S	2.26	2.37	0.723	4.756
33	Slimline	2.14	2.32	0.704	4.580
34	Schueco sol S	2.51	2.69	0.735	5.062
35	100×200	1.86	2.00	0.783	5.064
36	xzit/TYN-1	2.06	2.21	0.649	12.58
37	2000×1000	1.88	2.00	0.655	6.258
38	P-G/0.6-T/JST-2.0	1.83	2.00	0.763	7.914
39	P-G/0.6-T/HGT-1.5	1.39	1.50	0.758	5.120
40	P-G/0.6-T/TXT-1.5	1.39	1.50	0.662	6.803
41	PYT/L-2-2	1.83	2.00	0.754	3.799
42	2000×1000	1.88	2.00	0.689	5.082
43	Dr-008	1.88	2.00	0.708	4.376

44	2000×1000	1.85	2.00	0.704	4.863
45	2m ²	1.85	2.00	0.748	4.580
46	PYT/L2.0-3	1.87	2.00	0.778	5.276
47	PCT 2.0-2	1.75	2.05	0.727	7.563
48	PGT 2.0-1	1.92	2.00	0.744	8.027
49	PG-2.0	1.86	2.00	0.746	5.813
50	2m ²	1.87	2.00	0.769	5.055
51	PSP 070×1080×95	2.00	2.24	0.778	4.295
52	P-G/0.6-T/ Al-N/Al-2.0	1.85	2.00	0.701	4.398
平均		/	/	0.732	6.514

1.2.3 国内平板型太阳能集热器热性能数据差异性分析

图 4、图 5 分别列出平板型太阳能集热器数据与国家标准规定值比较。

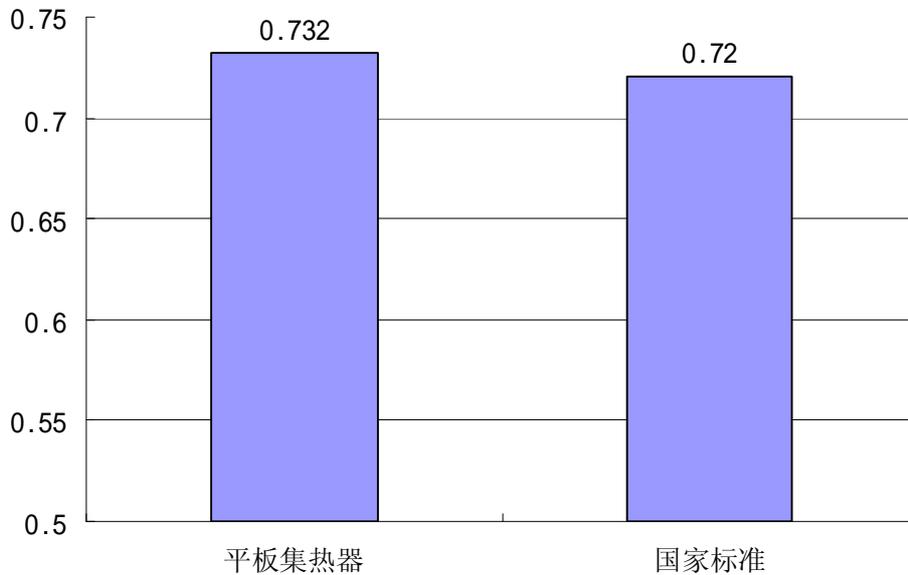


图 4 平板型太阳能集热器截距数据比较

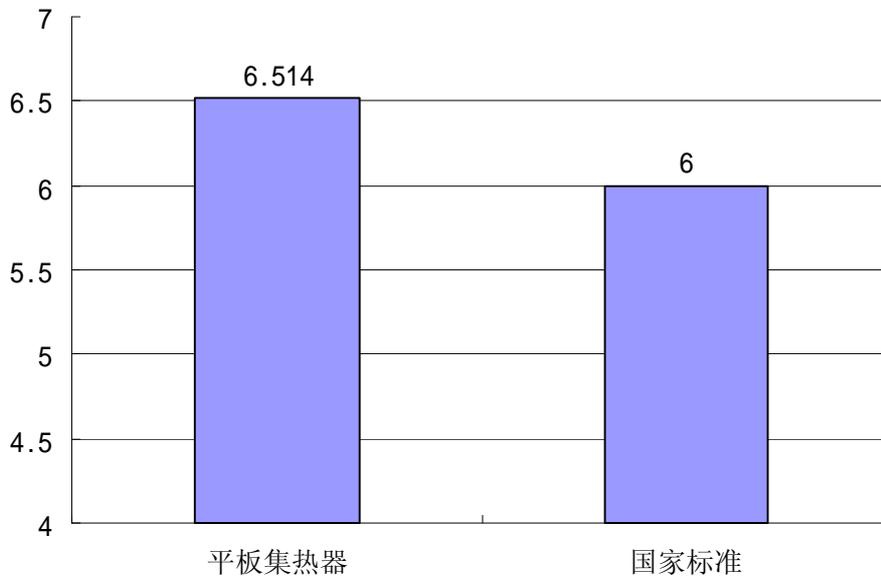


图 5 平板型太阳能集热器热损数据比较

从以上的分析可以知道,国内平板型太阳能集热器热性能数据中截距略高于国家标准要求,而热损也高于国家标准要求,而两个指标与集热器的涂层密切相关,因此平板型太阳能集热器的涂层存在较大的改进空间

1.3 国外太阳能集热器热性能数据分析

1.3.1 国外真空管型太阳能集热器热性能数据分析

1.3.1.1 国外真空管型太阳能集热器热性能数据汇总

1.3.1.1.1 SRCC 检测数据汇总

SRCC (Solar rating and Certification Corporation) 在 1980 年在美国建立,是一个太阳能产品认证机构。

SRCC 认证程序要求在其认可实验室对太阳能设备进行性能测试,并提供技术指导、测试方法、最低标准、分级方法。SRCC 审核测试结果及产品数据,以判定产品是否符合发证的最低标准,并计算性能等级。经过认证并经 SRCC 分级的产品需粘贴 SRCC 认证标签,该标签标明产品的性能等级。

厂家名称	型号规格	集热器总面积(m ²)	η	a_1	a_2
American Solar Works Holdings	ASW52B	2.86	0.481	-1.65	-0.291
American Solar Works Holdings	ASW52B Stretch	3.90	0.481	-1.65	-0.291

Apricus Solar Co., Ltd.	AP-10	1.34	0.418	-1.17	-0.206
Apricus Solar Co., Ltd.	AP-20	2.71	0.418	-1.17	-0.206
Apricus Solar Co., Ltd.	AP-22	2.98	0.418	-1.17	-0.206
Apricus Solar Co., Ltd.	AP-30	4.05	0.418	-1.17	-0.206
Beijing Sunda Solar Energy Technology Co Ltd	SEIDO 10-10AS/AB	1.68	0.462	-1.57	-0.276
Beijing Sunda Solar Energy Technology Co Ltd	SEIDO 10-20AS/AB	3.39	0.462	-1.57	-0.276
Beijing Sunda Solar Energy Technology Co Ltd	SEIDO 1-16	3.99	0.529	-1.70	-0.299
Beijing Sunda Solar Energy Technology Co Ltd	SEIDO 1-8	2.00	0.529	-1.70	-0.299
Beijing Sunda Solar Energy Technology Co Ltd	SEIDO 2-16	4.10	0.628	-1.72	-0.303
Beijing Sunda Solar Energy Technology Co Ltd	SEIDO 2-8	2.03	0.628	-1.72	-0.303
Beijing Sunda Solar Energy Technology Co Ltd	SEIDO 5-16 AS/AB	4.10	0.492	-1.92	-0.339
Beijing Sunda Solar Energy Technology Co Ltd	SEIDO 5-8 AS/AB	2.03	0.492	-1.92	-0.339
BTF, Ltd.	SP-20	3.08	0.345	-1.15	-0.203
G.S. Inc.	EOS-S10	1.58	0.273	-1.35	-0.237
G.S. Inc.	EOS-S20	3.09	0.273	-1.35	-0.237
G.S. Inc.	EOS-S30	4.65	0.273	-1.35	-0.237
Heat Transfer Products	HP-30SC	4.05	0.418	-1.17	-0.206
Oventrop Corporation	OV 10-10 AS/AB	1.68	0.462	-1.57	-0.276
Oventrop Corporation	OV 10-20 AS/AB	3.39	0.462	-1.57	-0.276
Oventrop Corporation	OV 5-16 AS/AB	4.10	0.492	-1.92	-0.339
Oventrop Corporation	OV 5-8 AS/AB	2.03	0.492	-1.92	-0.339
Silicon Solar Inc.	20EVT	3.44	0.376	-1.32	-0.233
Thermo Technologies	TMA-600-20	3.06	0.530	-1.42	-0.250
Thermo Technologies	TMA-600-30	4.58	0.530	-1.42	-0.250
Thermo Technologies	TMA-600-50	7.64	0.530	-1.42	-0.250
Thermo Technologies	TMA-600-70	10.70	0.530	-1.42	-0.250
Thermo Technologies	TMA-600-80	12.22	0.530	-1.42	-0.250
Viessmann Manufacturing Company (US) Inc.11	Type SP3, 2m2	2.88	0.509	-1.09	-0.193
Viessmann Manufacturing Company (US) Inc.	Type SP3, 3m2	4.29	0.509	-1.09	-0.193
平均		/	0.464	-1.48	-0.260

1.3.1.1.2 SPF 检测数据汇总

瑞士太阳能研究所(SPF 1981 年成立, 该研究所一直在从事应用研究和开发太阳能热利用技术。工作内容主要是太阳能产品检测和太阳能应用方面的软件开发, 主要从事以下几方面的工作:

- 材料和部件(吸收涂层, 基材, 盖板, 水泵, 补偿器) 研究与测试
- 集热器(平板型和真空管型, 液态和气态传热工质, 集中配置) 研究与测试
- 系统(太阳能生活热水系统, 结合系统的供暖和热水, 太阳能制冷) 研究与测试
- 信息技术(计算和优化集热器系统的软件“Polysun”) 开发

厂家名称	规格型号	集热器长 (m)	集热器宽 (m)	采光面积 (m ²)	η	a ₁	a ₂	总面积 (m ²)	η	a ₁	a ₂
Viessmann Werke GmbH & Co	Viessmann VitoSol 200 D20	2.012	1.440	2.158	0.809	2.22	0.0021	2.897	0.603	1.65	0.0015
Viessmann Werke GmbH & Co	Viessmann VitoSol 300	2.021	1.450	2.189	0.765	1.26	0.0052	2.930	0.572	0.94	0.0039
B.Schweizer Energie AG	Schweizer Energie Swissspipe 2	2.932	0.730	1.412	0.813	1.32	0.0035	2.140	0.537	0.87	0.0023
Hoval Herzog AG	Hoval Solkit Mazdon	2.010	2.211	3.168	0.754	1.29	0.0046	4.444	0.538	0.92	0.0033
Hoval Herzog AG	Hoval Solamax	2.070	2.210	3.184	0.776	2.02	0.0041	4.575	0.540	1.41	0.0029
Consolar GmbH	Consolar TUBO 11 CPC	1.860	0.625	0.967	0.655	1.26	-	1.163	0.545	1.05	-
Collectra AG	Collectra OPC 15 H	1.700	1.250	1.700	0.779	1.63	0.0063	2.125	0.623	1.30	0.0050
Focus Technology Co.Ltd	Focus Technology FSCB-20-SS	1.700	1.470	1.248	0.617	1.65	0.0096	2.499	0.308	0.82	0.0048

Schott-Rohrglas GmbH	Schott ETC 16	1.682	0.768	0.804	0.773	1.09	0.0094	1.292	0.481	0.68	0.0059
Viessmann Werke GmbH & Co	Vitosol 250	1.730	0.960	1.017	0.776	1.97	0.0047	1.661	0.475	1.21	0.0029
Thermomax Ltd.	MS 20 - TMO 500	1.961	1.417	2.135	0.759	1.38	-	2.779	0.583	1.06	-
Thermomax Ltd.	MS 30 - TMO 500	1.960	2.123	3.202	0.780	2.15	-	4.161	0.600	1.65	-
Thermomax Ltd.	Thermomax Mazdon 20-TMA 600S	2.021	1.500	2.143	0.760	1.09	0.0061	3.032	0.538	0.77	0.0043
Thermomax Ltd.	Thermomax Mazdon 30-TMA 600S	2.021	2.210	3.215	0.755	1.23	0.0078	4.466	0.543	0.88	0.0056
Thermomax Ltd.	Thermomax Solamax 20-TDS 300	2.013	1.417	2.150	0.769	1.61	0.0032	2.852	0.580	1.21	0.0024
Thermomax Ltd.	Thermomax Solamax 30-TDS 300	2.013	2.125	3.225	0.750	1.25	0.0094	4.278	0.566	0.94	0.0071
augusta-solar GmbH	AS 100 HP	2.170	1.927	2.912	0.744	1.30	0.0038	4.182	0.518	0.90	0.0026
augusta-solar GmbH	AS 100 DF 6	2.145	0.718	1.124	0.733	1.04	0.0086	1.540	0.535	0.76	0.0063
Vaillant GmbH	Vaillant VTK 550	1.682	0.768	0.804	0.773	1.09	0.0094	1.292	0.481	0.68	0.0059
Oertli Rohleder GmbH	Oertli Sun 3000	1.682	0.768	0.804	0.773	1.09	0.0094	1.292	0.481	0.68	0.0059
De Dietrich Thermique	Dietrisol Power	1.682	0.768	0.804	0.773	1.09	0.0094	1.292	0.481	0.68	0.0059
Focus Technology Co.Ltd	AP-20	1.929	1.496	1.876	0.614	1.30	0.0073	2.886	0.399	0.85	0.0047
Jacques Giordano Industries SA	Cortec 2	0.730	2.597	1.253	0.763	1.31	0.0111	1.896	0.505	0.87	0.0073
SG Sieger-Solar KG	Sunstar	1.992	2.153	3.207	0.739	1.08	0.0056	4.289	0.552	0.80	0.0042
Vögelin GmbH	Xinox	2.145	0.718	1.124	0.733	1.04	0.0086	1.540	0.535	0.76	0.0063
Beijing Sunda Solar Energy Technology Co	Seido 10-20	1.902	1.800	2.251	0.753	1.88	0.0032	3.424	0.495	1.24	0.0021
Beijing Sunda Solar Energy	Seido 1-16	2.126	1.920	3.008	0.732	1.50	0.0054	4.082	0.539	1.11	0.0040

Technology											
SolarUK	LaZer2	1.276	2.110	1.864	0.753	1.54	0.0099	2.692	0.522	1.06	0.0069
AMK-Collectra AG	OPC 15 S	1.701	1.250	1.712	0.764	1.53	0.0003	2.126	0.615	1.23	0.0002
Solar Supplies UK Ltd.	Consol DS-22-47-1500	1.635	1.605	1.356	0.627	2.22	0.0058	2.624	0.324	1.15	0.0030
Enertech GmbH	EnerSol HP	1.992	2.153	3.207	0.739	1.08	0.0056	4.289	0.552	0.80	0.0042
eht Italia s.r.l.	1100 HP30	1.992	2.153	2.207	0.739	1.08	0.0056	4.289	0.552	0.80	0.0042
Gasokol GmbH	vacuTube HP 65/30	1.992	2.153	3.207	0.739	1.08	0.0056	4.289	0.552	0.80	0.0042
Xinwang Green Energy Co.Ltd	AKT18	1.942	1.496	1.708	0.533	1.30	0.0125	2.905	0.313	0.76	0.0073
SunGeoGet	DS-22-47-1500	1.635	1.605	1.356	0.627	2.22	0.0058	2.624	0.324	1.15	0.0030
Wagner & Co Solartechnik GmbH	Vero VC 16	1.682	0.768	0.804	0.773	1.09	0.0094	1.292	0.481	0.68	0.0059
Enfoque-Energias Renovaveis,LDA.	SCC-18H	1.942	1.496	1.708	0.533	1.30	0.0125	2.905	0.313	0.76	0.0073
Navitron Ltd	SFC 10	1.745	0.990	1.013	0.590	1.07	0.0181	1.728	0.346	0.63	0.0106
Xinwang Green Energy Co.,Ltd	ANK 20	1.945	1.467	1.869	0.571	2.10	0.0067	2.853	0.374	1.37	0.0044
La Fabbrica del Sole	SWH-B 184715	1.942	1.496	1.708	0.533	1.30	0.0125	2.905	0.313	0.76	0.0073
Ulrich Sp.z o.o.	SG 1800/18	1.942	1.496	1.708	0.533	1.30	0.0125	2.905	0.313	0.76	0.0073
Klimeko	KS 1800/58-18 CCF	1.942	1.496	1.708	0.533	1.30	0.0125	2.905	0.313	0.76	0.0073
Klimeko	KS-1800-58/20CCF	1.945	1.467	1.869	0.571	2.10	0.0067	2.853	0.374	1.37	0.0044
Changzhou Consol Energy Co.,Ltd.	DS-10-58-1800	1.924	0.892	0.945	0.551	2.00	0.0069	1.658	0.314	1.14	0.0040
Changzhou Consol Energy Co.,Ltd.	DS-30-58-1800	1.923	2.457	2.833	0.483	1.83	0.0074	4.725	0.289	1.09	0.0044

Solarpower GmbH	Solartrap 10	1.753	0.928	0.987	0.594	1.54	0.0198	1.627	0.360	0.93	0.0120
Solarpower GmbH	Solartrap 20	1.752	1.828	1.973	0.609	2.47	0.0090	3.203	0.375	1.52	0.0056
ensaco gmbh	HVK Seido 10	1.902	1.800	2.251	0.753	1.88	0.0032	3.424	0.495	1.24	0.0021
WIKORA GmbH	Wikosun DF 100-6	2.206	0.720	1.114	0.792	1.62	0.0021	1.588	0.555	1.14	0.0015
ensaco gmbh	HVK Seido 1	2.126	1.920	3.008	0.732	1.50	0.0054	4.082	0.539	1.11	0.0040
WIKORA GmbH	Wikosun HP 65-20	1.975	1.453	2.113	0.745	1.43	0.0018	2.870	0.549	1.05	0.0013
WIKORA GmbH	Wikosun HP 65-30	1.980	2.152	3.175	0.773	1.62	0.0010	4.261	0.576	1.21	0.0008
Riomay Ltd	Ecotube	2.923	0.842	1.799	0.794	1.02	0.0032	2.461	0.580	0.75	0.0024
Dallinger GmbH	Sonnenpower 22	1.970	1.846	2.074	0.617	1.34	0.0101	3.637	0.352	0.76	0.0058
Ekos S.r.l.	EDS-10-58-1800	1.924	0.892	0.945	0.551	2.00	0.0069	1.658	0.314	1.14	0.0040
Ekos S.r.l.	EDS-30-58-1800	1.923	2.457	2.833	0.483	1.83	0.0074	4.725	0.289	1.09	0.0044
Easy Energy Ltd.	EEDS-10-58-18	1.924	0.892	0.945	0.551	2.00	0.0069	1.658	0.314	1.14	0.0040
Easy Energy Ltd.	EEDS-30-58-18	1.923	2.457	2.833	0.483	1.83	0.0074	4.725	0.289	1.09	0.0044
平均		/	/	/	0.688	1.51	0.0072	/	0.464	1.00	0.0046

1.3.1.2 国外真空管型太阳能集热器热性能数据分析

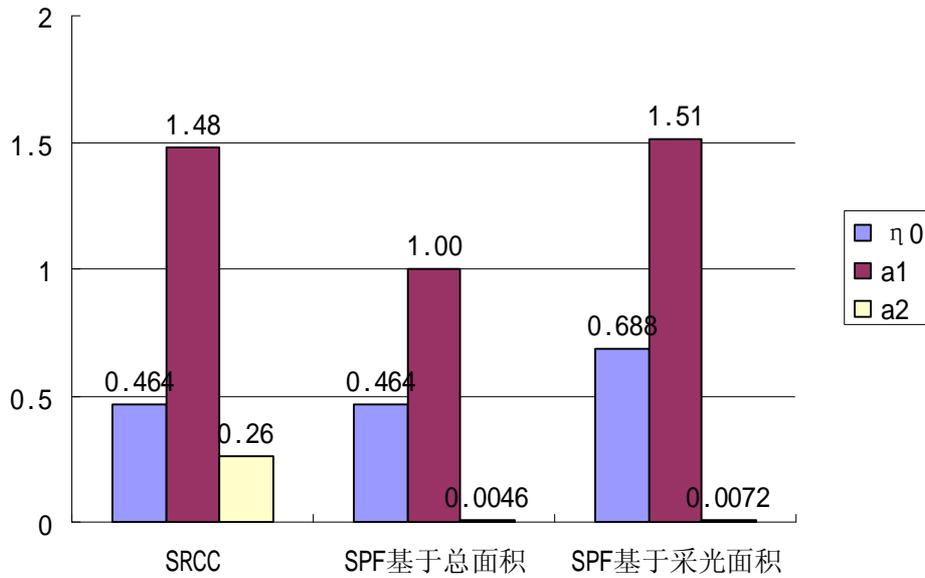


图 6 SRCC 和 SPF 真空管型太阳能集热器热性能数据比较

1.3.2 国外平板型太阳能集热器热性能数据分析

1.3.2.1 国外平板型太阳能集热器热性能数据汇总

1.3.2.1.1 SRCC 检测数据汇总

厂家名称	型号规格	集热器总面积(m^2)	η	a_1	a_2
ACR Solar International	10-01	0.93	0.602	-3.76	-0.663
ACR Solar International	20-01	1.87	0.604	-3.73	-0.657
Alternate Energy Technologies	AE-21	1.93	0.706	-4.91	-0.865
Alternate Energy Technologies	AE-21E	1.93	0.660	-6.37	-1.123
Alternate Energy Technologies	AE-24	2.21	0.706	-4.91	-0.865
Alternate Energy Technologies	AE-24E	2.21	0.655	-6.37	-1.123
Alternate Energy Technologies	AE-26	2.35	0.706	-4.91	-0.865
Alternate Energy Technologies	AE-26E	2.36	0.655	-6.37	-1.123
Alternate Energy Technologies	AE-28	2.60	0.706	-4.91	-0.865
Alternate Energy Technologies	AE-28E	2.60	0.655	-6.37	-1.123

Alternate Technologies	Energy	AE-32	2.96	0.706	-4.91	-0.865
Alternate Technologies	Energy	AE-32E	2.97	0.655	-6.37	-1.123
Alternate Technologies	Energy	AE-40	3.70	0.706	-4.91	0.865
Alternate Technologies	Energy	AE-40E	3.70	0.655	-6.37	-1.123
Alternate Technologies	Energy	AE-50	4.66	0.706	-4.91	-0.865
Alternate Technologies	Energy	AE-56	5.18	0.706	-4.91	-0.865
Alternate Technologies	Energy	MSC-21	2.00	0.706	-4.91	-0.865
Alternate Technologies	Energy	MSC-21E	2.00	0.655	-6.37	-1.123
Alternate Technologies	Energy	MSC-24	2.28	0.706	-4.91	-0.865
Alternate Technologies	Energy	MSC-24E	2.27	0.655	-6.37	-1.123
Alternate Technologies	Energy	MSC-26	2.42	0.706	-4.91	-0.865
Alternate Technologies	Energy	MSC-26E	2.41	0.655	-6.37	-1.123
Alternate Technologies	Energy	MSC-28	2.66	0.706	-4.91	-0.865
Alternate Technologies	Energy	MSC-28E	2.65	0.655	-6.37	-1.123
Alternate Technologies	Energy	MSC-32	3.03	0.706	-4.91	-0.865
Alternate Technologies	Energy	MSC-32E	3.02	0.655	-6.37	-1.123
Alternate Technologies	Energy	MSC-40	3.92	0.706	-4.91	-0.865
Alternate Technologies	Energy	MSC-40E	3.76	0.655	-6.37	-1.123
Alternate Technologies	Energy	ST-21E	1.97	0.674	-6.02	-1.061
Alternate Technologies	Energy	ST-40E	3.58	0.674	-6.02	-1.061
Bosch Corp.	Thermotechnology	FKC-1 s+w	2.41	0.723	-4.44	-0.782
Bosch Corp.	Thermotechnology	SKN 3.0-s+w (Vert-Horiz)	2.41	0.723	-4.44	-0.782

Bosch Thermotechnology Corp.	SKN 4.0-s+w (Vert-Horiz)	2.41	0.715	-3.97	-0.700
Bubbling Springs Solar, Inc.	MS 29	2.92	0.707	-5.12	0.903
Bubbling Springs Solar, Inc.	MS 32	2.98	0.708	-5.13	-0.904
Bubbling Springs Solar, Inc.	MS 40	3.71	0.711	-5.14	-0.905
Energy Conservation Products and Services	6000	3.00	0.422	-6.01	-1.059
Enerworks, Inc.	COL-4X8-NL-SG1-SH10US	2.87	0.768	-4.03	-0.711
Enerworks, Inc.	COL-4X8-TL-SG1-SD10US	2.87	0.726	-5.11	-0.901
Environmental Solar Systems	SM-14	1.74	0.580	-5.14	-0.905
General Solar Systems GmbH	SK500L	2.57	0.686	-3.59	-0.633
General Solar Systems GmbH	SK500N	2.57	0.686	-3.59	-0.633
Genersys PLC	1000-10	2.04	0.591	-3.99	-0.704
Heliodyne, Inc.	336 001	2.49	0.731	-4.03	-0.710
Heliodyne, Inc.	336 013	2.49	0.708	-4.54	-0.801
Heliodyne, Inc.	406 001	2.50	0.732	-4.19	-0.739
Heliodyne, Inc.	406 013	2.50	0.711	-4.56	-0.804
Heliodyne, Inc.	408 001	2.99	0.736	-4.21	-0.741
Heliodyne, Inc.	408 013	2.99	0.715	-4.74	-0.835
Heliodyne, Inc.	410 001	3.73	0.739	-4.21	-0.742
Heliodyne, Inc.	410 013	3.73	0.718	-4.75	-0.837
Heliodyne, Inc.	Mojave 408	3.00	0.726	-6.08	-1.071
Heliodyne, Inc.	Mojave 410	3.73	0.726	-6.08	-1.071
Integrated Solar, LLC	Radco 308C-HP	2.20	0.778	-4.96	-0.875
Integrated Solar, LLC	Radco 308P-HP	2.20	0.764	-7.51	-1.323
Integrated Solar, LLC	Radco 408C-HP	3.00	0.779	-4.77	-0.841
Integrated Solar, LLC	Radco 408P-HP	3.00	0.768	-7.24	-1.276
Integrated Solar, LLC	Radco 410C-HP	3.71	0.779	-4.77	-0.841
Integrated Solar, LLC	Radco 410P-HP	3.71	0.768	-7.24	-1.276
Integrated Solar, LLC	Radco 412C-HP	4.49	0.779	-4.77	-0.841
Integrated Solar, LLC	Radco 412P-HP	4.49	0.768	-7.24	-1.276
King Solar Products	KS-21	1.93	0.706	-4.91	-0.865
King Solar Products	KS-24	2.21	0.706	-4.91	-0.865
King Solar Products	KS-26	2.35	0.706	-4.91	-0.865
King Solar Products	KS-28	2.60	0.706	-4.91	-0.865

King Solar Products	KS-32	2.96	0.706	-4.91	-0.865
King Solar Products	KS-40	3.70	0.706	-4.91	-0.865
Marathon International	S-SPC 18	1.92	0.696	-4.46	-0.785
Mr. Sun Solar	AE-40	3.70	0.706	-4.91	-0.865
Mr. Sun Solar	AE-50	4.66	0.706	-4.91	-0.865
Mr. Sun Solar	AE-56	5.18	0.706	-4.91	-0.865
Pacific West Solar	FS410	3.88	0.616	-4.46	-0.785
Power Partners, Inc.	10-01	0.93	0.602	-3.76	-0.663
Power Partners, Inc.	20-01	1.87	0.604	-3.73	-0.657
R&R Solar Supply	EPI- 308CU(3'x7')	1.90	0.708	-6.11	-1.077
R&R Solar Supply	EPI- 308CU(3'x8')	2.17	0.708	-6.11	-1.077
R&R Solar Supply	EPI- 308CU(4'x8')	2.92	0.708	-6.11	-1.077
R&R Solar Supply	EPI- 308SS(3'x7')	1.90	0.708	-6.11	-1.077
R&R Solar Supply	EPI- 308SS(3'x8')	2.17	0.708	-6.11	-1.077
R&R Solar Supply	EPI- 308SS(4'x8')	2.92	0.708	-6.11	-1.077
R&R Solar Supply	Sunpro 21	1.90	0.708	-6.11	-1.077
R&R Solar Supply	Sunpro 24	2.17	0.708	-6.11	-1.077
R&R Solar Supply	Sunpro 32	2.92	0.708	-6.11	-1.077
R&R Solar Supply	Sunpro 40	3.64	0.708	-6.11	-1.077
Rheem Water Heaters	RS21-BC	1.98	0.759	-5.93	-1.045
Rheem Water Heaters	RS21-BP	1.98	0.772	-8.36	-1.473
Rheem Water Heaters	RS21-SC	1.98	0.750	-4.87	-0.858
Schuco USA L.P.	Compact S	2.31	0.715	-3.99	-0.704
Schuco USA L.P.	V, H, LA	2.70	0.718	-4.28	-0.754
Schuco USA L.P.	V, LA	2.31	0.715	-3.99	-0.704
Sealed Air Corporation	FW-48	4.40	0.739	-8.21	-1.447
Solahart Industries	Bt	1.98	0.75	-4.87	-0.858
Solahart Industries	J	1.98	0.772	-8.36	-1.473
Solahart Industries	Kf	1.98	0.759	-5.93	-1.045
Solahart Industries	L	1.98	0.625	-7.47	-1.316
Solahart Industries	M	1.98	0.625	-4.53	-0.798
Solar Development, Inc.	SD8-21	1.93	0.706	-4.91	-0.865
Solar Development, Inc.	SD8-26	2.35	0.706	-4.91	-0.865
Solar Development, Inc.	SD8-28	2.60	0.706	-4.91	-0.865
Solar Development, Inc.	SD8-32	2.96	0.706	-4.91	-0.865
Solar Development, Inc.	SD8-40	3.70	0.706	-4.91	-0.865
Solar Energy 4 U llc.	SK500L	2.57	0.686	-3.59	-0.633
Solar Energy 4 U llc.	SK500N	2.57	0.686	-3.59	-0.633
Solar Energy, Inc.	SE-21	2.03	0.704	-4.49	-0.790

Solar Energy, Inc.	SE-24	2.31	0.704	-4.49	-0.790
Solar Energy, Inc.	SE-28	2.51	0.704	-4.49	-0.790
Solar Energy, Inc.	SE-32	2.87	0.704	-4.49	-0.790
Solar Energy, Inc.	SE-40	3.58	0.704	-4.49	-0.790
Solar Skies Mfg, LLC	NSC-21	2.00	0.706	-4.91	-0.865
Solar Skies Mfg, LLC	NSC-24	2.28	0.706	-4.91	-0.865
Solar Skies Mfg, LLC	NSC-26	2.42	0.706	-4.91	-0.865
Solar Skies Mfg, LLC	NSC-28	2.66	0.706	-4.91	-0.865
Solar Skies Mfg, LLC	NSC-32	3.03	0.706	-4.91	-0.865
Solar Skies Mfg, LLC	NSC-40	3.92	0.706	-4.91	-0.865
Solar Skies Mfg, LLC	SS-21	1.93	0.706	-4.91	-0.865
Solar Skies Mfg, LLC	SS-24	2.21	0.706	-4.91	-0.865
Solar Skies Mfg, LLC	SS-26	2.35	0.706	-4.91	-0.865
Solar Skies Mfg, LLC	SS-28	2.60	0.706	-4.91	-0.865
Solar Skies Mfg, LLC	SS-32	2.96	0.706	-4.91	-0.865
Solar Skies Mfg, LLC	SS-40	3.70	0.706	-4.91	-0.865
Solar Skies Mfg, LLC	SS-50	4.66	0.706	-4.91	-0.865
Solar Thermal Systems	STS 410BC	3.80	0.758	-4.13	-0.727
Solar Thermal Systems	STS 410BP	3.80	0.682	-4.54	-0.800
Solar Thermal Systems	STS 48BC	3.05	0.753	-4.11	-0.724
Solar Thermal Systems	STS 48BP	3.05	0.682	-4.54	-0.800
Solargenix Energy, LLC	WS0503	2.24	0.600	-5.68	-1.001
Solarhot	S-SC-126P26	2.45	0.684	-3.87	-0.682
Solarhot	S-SC-126P32	2.97	0.685	-3.86	-0.681
Solarhot	S-SC-126P40	3.66	0.688	-3.88	-0.683
Solarhot	S-SC-126S26	2.45	0.663	-6.53	-1.152
Solarhot	S-SC-126S32	2.97	0.665	-6.54	-1.152
Solar-Max Heating Systems, Inc.	MSM-101	2.95	0.417	-6.30	-1.110
Solene	SLCO-30	2.28	0.782	-4.60	-0.811
Solene	SLCO-32	2.95	0.785	-4.60	-0.810
Solene	SLCO-32P	2.95	0.679	-6.22	-1.096
Solene	SLCO-40	3.61	0.787	-4.60	-0.810
Solene	SLCO-40P	3.63	0.672	-6.14	-1.081
Solene	SLCR-30	2.81	0.735	-5.37	-0.945
Solene	SLCR-32	2.97	0.735	-5.37	-0.945
Solene	SLCR-40	3.72	0.735	-5.37	-0.945
Stiebel Eltron	Sol 25 Plus	2.73	0.660	-4.29	-0.755
SunBank Solar	SB10	0.93	0.602	-3.76	-0.663

SunBank Solar	SB20	1.87	0.604	-3.73	-0.657
SunEarth, Inc.	EC-21	1.97	0.735	-4.04	-0.712
SunEarth, Inc.	EC-24	2.30	0.735	-4.04	-0.712
SunEarth, Inc.	EC-32	3.05	0.753	-4.11	-0.724
SunEarth, Inc.	EC-32-1.5	3.05	0.753	-4.11	-0.724
SunEarth, Inc.	EC-40	3.80	0.758	-4.13	-0.727
SunEarth, Inc.	EC-40-1.5	3.80	0.758	-4.13	-0.727
SunEarth, Inc.	EP-20	1.83	0.682	-4.54	-0.800
SunEarth, Inc.	EP-21	1.97	0.682	-4.54	-0.800
SunEarth, Inc.	EP-24	2.29	0.682	-4.54	-0.800
SunEarth, Inc.	EP-32	3.05	0.682	-4.54	-0.800
SunEarth, Inc.	EP-40	3.80	0.682	-4.54	-0.800
SunEarth, Inc.	IC-24	2.30	0.735	-4.04	-0.712
SunEarth, Inc.	IC-32	3.05	0.753	-4.11	-0.724
SunEarth, Inc.	IC-40	3.80	0.758	-4.13	-0.727
SunEarth, Inc.	IP-24	2.30	0.682	-4.54	-0.800
SunEarth, Inc.	IP-32	3.06	0.682	-4.54	-0.800
SunEarth, Inc.	IP-40	3.81	0.682	-4.54	-0.800
SunEarth, Inc.	SB-24-0.75	2.29	0.661	-6.58	-1.159
SunEarth, Inc.	SB-32-0.75	3.06	0.673	-6.67	-1.176
SunEarth, Inc.	SB-40-0.75	3.80	0.681	-6.74	-1.188
SunEarth, Inc.	SC-24	2.30	0.735	-4.04	-0.712
SunEarth, Inc.	SC-32	3.05	0.753	-4.11	-0.724
SunEarth, Inc.	SC-40	3.80	0.758	-4.13	-0.727
SunEarth, Inc.	SP-24	2.29	0.682	-4.54	-0.800
SunEarth, Inc.	SP-32	3.05	0.682	-4.54	-0.800
SunEarth, Inc.	SP-40	3.80	0.682	-4.54	-0.800
SunEarth, Inc.	SSC-21	1.97	0.735	-4.04	-0.712
SunEarth, Inc.	SSC-24	2.30	0.735	-4.04	-0.712
SunEarth, Inc.	SSC-32	3.05	0.753	-4.11	-0.724
SunEarth, Inc.	SSC-40	3.80	0.758	-4.13	-0.727
SunEarth, Inc.	SSP-21	1.86	0.682	-4.54	-0.800
SunEarth, Inc.	SSP-24	2.16	0.682	-4.54	-0.800
SunEarth, Inc.	SSP-32	2.91	0.682	-4.54	-0.800
SunEarth, Inc.	SSP-40	3.63	0.682	-4.54	-0.800
Sunsiaray Solar Manufacturing, Inc.	NC-32	3.18	0.508	-4.84	-0.853
Synergy Solar	S19.78	1.85	0.626	-6.01	-1.060
Synergy Solar	S26.68	2.48	0.626	-6.01	-1.060

Synergy Solar	T19.78	1.85	0.647	-4.67	-0.822
Synergy Solar	T26.68	2.48	0.647	-4.67	-0.822
Synergy Solar	TC-19.78	1.84	0.686	-4.59	-0.809
Synergy Solar	TC-26.52	2.48	0.697	-4.57	-0.806
Thermo Dynamics, Ltd.	G32-P	2.98	0.700	-4.93	-0.870
Thermomax Industries Ltd.	AST20	2.85	0.574	-3.05	-0.537
Thermomax Industries Ltd.	AST30	4.28	0.574	-3.05	-0.537
Thermomax Industries Ltd.	AST50	7.13	0.574	-3.05	-0.537
Thermomax Industries Ltd.	AST70	9.98	0.574	-3.05	-0.537
Thermomax Industries Ltd.	AST80	11.41	0.574	-3.05	-0.537
VELUX America Inc.	CLI S06 4000	1.42	0.661	-3.79	-0.668
VELUX America Inc.	CLI S08 4000	1.16	0.639	-3.72	-0.655
VELUX America Inc.	CLI U12 4000	2.51	0.696	-3.90	-0.687
Viessmann Manufacturing Company (US) Inc.	SV1, SH1	2.52	0.720	-3.50	-0.616
Your Solar Home, Inc.	1000G	1.20	0.490	-6.99	-1.232
Your Solar Home, Inc.	1000GS	1.58	0.490	-6.99	-1.232
Your Solar Home, Inc.	1500G	2.05	0.490	-6.99	-1.232
Your Solar Home, Inc.	1500GS	2.43	0.490	-6.99	-1.232
Dawn Solar Systems, Inc.	3004-CT	9.64	0.074	-2.78	-0.490
Dawn Solar Systems, Inc.	3004L	9.30	0.126	-3.67	-0.647
Fafco, Inc.	Revolution	4.41	0.863	-14.84	-2.616
Fafco, Inc.	Sunsaver	3.63	0.838	-17.25	-3.040
Fafco, Inc.	Sunsaver ST	2.93	0.811	-22.44	-3.955
Heliocol USA, Inc.	HC	4.48	0.829	-18.53	-3.265
Performance Solar	Performance Plus	4.41	0.863	-14.84	-2.616
Performance Solar	Performance ST	2.93	0.811	-22.44	-3.955
Sealed Air Corporation	FP	4.36	0.794	-15.94	-2.809
Sealed Air Corporation	FS	4.40	0.781	-15.22	-2.682
SolarTech International LLC	ST-300	3.23	0.709	-21.99	-3.875
Suntrek Industries, Inc.	/	3.87	0.860	-17.68	-3.115
Techno-Solis, Inc.	C20TS10	3.67	0.824	-16.73	-2.948
UMA Solar	STR	4.48	0.829	-18.53	-3.265
UMA Solar	TC	4.52	0.726	-15.60	-2.748
平均		/	0.692	-5.77	-1.000

1.3.2.1.2 SPF 检测数据汇总

厂家名称	规格型号	集热器 长 (m)	集热器 宽 (m)	采光面积 (m ²)	η	a_1	a_2	总面积 (m ²)	η	a_1	a_2
Plambeckgmbh	D2	2.207	0.907	1.831	0.779	4.07	0.0069	2.002	0.713	3.72	0.0063
HEIWASON Solaranlagen	Heiwason	0.805	2.116	1.360	0.774	4.10	0.0125	1.703	0.595	3.27	0.0100
Sonnenkraft Vertriebs GmbH	Sonnenkraft SK IMK	2.030	3.030	5.355	0.781	3.55	0.0111	6.151	0.680	3.09	0.0096
Sonnenkraft Vertriebs GmbH	Sonnenkraft SK 500	2.077	1.236	2.307	0.772	3.77	0.0064	2.567	0.694	3.39	0.0058
Hug Solarhausbau	Hug Ra 4	2.067	4.060	7.294	0.742	3.62	0.0078	8.392	0.645	3.14	0.0068
SOLTEC AG	Soltec Ligna	1.030	2.536	2.096	0.839	4.23	0.0126	2.612	0.673	3.40	0.0101
Chromagen Solar Energy Systems	Chromagen CC-A/F(CR-120)	2.190	1.279	2.589	0.810	4.13	0.0148	2.801	0.748	3.82	0.0137
Thüsolar GmbH	Thüsolar Thüsol 2.0	2.040	1.039	1.862	0.758	4.10	0.0083	2.120	0.666	3.60	0.0073
EDWARDS Hot Water PTY LTD	Edwards SV Maxorb	1.981	0.992	1.809	0.832	4.81	0.0147	1.965	0.766	4.43	0.0135
Gasokol GmbH	Gasokol GKEM	2.290	1.078	2.187	0.771	4.70	0.0073	2.469	0.683	4.16	0.0065
AKS Doma Solartechnik GmbH	AKS Doma Grossflä chenkollektor	2.035	3.133	5.360	0.806	3.70	0.0155	6.375	0.678	3.11	0.0131
Keba-Sol	Keba-Sol STA 23T	2.173	1.259	2.406	0.770	3.92	0.0057	2.736	0.678	3.45	0.0050
Keba-Sol	Keba-Sol STA 23S	2.173	1.259	2.406	0.748	4.12	0.0075	2.736	0.658	3.62	0.0066
SOLTOP Schuppisser AG	SOLTOP COBRA	2.453	0.943	2.048	0.823	3.77	0.0092	2.313	0.729	3.34	0.0081
Agema SA énergies	Agema Azur6	2.431	0.930	2.064	0.833	3.63	0.0140	2.261	0.760	3.31	0.0128
Thermo Dynamik Solar AG	Thermo Dynamik SE 26	2.290	1.075	2.189	0.734	3.49	0.0193	2.462	0.653	3.10	0.0172
ARGE Integral	ARGE Integral Holz	2.190	2.210	4.130	0.777	4.36	0.0101	4.840	0.663	3.72	0.0086

SEBASOL Selbstbau	Sebasol EN93	1.560	2.410	3.001	0.702	4.11	0.0159	3.760	0.560	3.28	0.0127
HEWALEX	HEWALEX KS-2000S	2.030	1.026	1.834	0.752	4.29	0.0076	2.083	0.662	3.78	0.0067
Emst Schweizer AG	Ernst Schweizer MH 23 light	1.226	2.082	2.280	0.803	3.81	0.0156	2.553	0.717	3.41	0.0139
SE-Consulting	Alfa	1.980	1.133	1.907	0.747	4.38	0.0047	2.243	0.635	3.72	0.0040
Viessmann Werke GmbH & Co	VitoSol 100 S2.5	2.390	1.139	2.500	0.850	4.07	0.0070	2.722	0.781	3.74	0.0064
Fritz Krebs + Co AG	Krebs+Co AG Flachkollektor	2.453	0.949	2.053	0.821	4.17	0.0096	2.328	0.724	3.68	0.0085
Fercher Moderne Energietechnik GmbH	Fercher F3000	2.141	1.006	1.970	0.821	7.03	0.0234	2.150	0.752	6.44	0.0214
Siko Energiesysteme	Siko Integral 06	2.030	3.138	5.350	0.809	4.06	0.0089	6.370	0.679	3.14	0.0074
Ing.Glatz Johann	Geosolar GSE 2000	1.976	0.976	1.858	0.818	4.62	0.0068	1.929	0.788	4.45	0.0065
Emaru sp.z o.o.	Emaru Flachkollektor	1.966	0.988	1.722	0.757	3.84	0.0164	1.942	0.671	3.41	0.0145
IDALTERMO SRL	IDALTERMO VENERE PC200	2.089	1.088	1.944	0.770	6.36	0.0131	2.273	0.659	5.44	0.0112
SUN-PRO GmbH	SUN-PRO Sunbox HFK-S	2.014	3.020	5.478	0.781	3.70	0.0106	6.082	0.704	3.33	0.0096
Fritz Krebs + Co AG	Krebs+Co AG Einbaukollektor	2.020	2.861	4.843	0.742	4.02	0.0065	5.779	0.621	3.37	0.0055
Schenk Bruhin AG	Schenk SBC_Solar Varia II	2.062	1.314	2.281	0.822	4.19	0.0148	2.709	0.692	3.53	0.0124
Z.M.E.Aparel	Aparel Flachkollektor	1.966	0.988	1.722	0.757	3.84	0.0164	1.942	0.671	3.41	0.0145
Thermo Dynamik Solar AG	Thermo Dynamik SE	2.290	1.075	2.189	0.793	3.21	0.0122	2.462	0.705	2.85	0.0109

	26.2										
Austria Email AG	Sunlight 2500 R-T	2.065	1.225	2.400	0.767	3.40	0.0113	2.530	0.728	3.23	0.0107
Sonnenkraft SolarSystems GmbH	HSADK	2.065	1.225	2.400	0.729	3.53	0.0092	2.530	0.692	3.35	0.0087
NET Neue Energie Technik GmbH	NET-KORONA	2.470	1.889	4.082	0.824	4.15	0.0069	4.666	0.721	3.63	0.0061
Solahart Industries PTYLtd	Solahart M	1.938	1.025	1.856	0.730	4.61	0.0082	1.986	0.682	4.30	0.0077
KAGO-Konzern	KAGO-SOLAR	1.998	1.230	2.262	0.789	1.73	0.0472	2.458	0.726	1.59	0.0434
Gasokol GmbH	Gasokol gigaSol 6	2.012	3.010	5.538	0.742	3.69	0.0091	6.056	0.678	3.37	0.0083
Winkler Solarsysteme Spenglerei GmbH	Winkler VarioSol E	2.017	4.000	7.324	0.769	3.08	0.0156	8.068	0.698	2.80	0.0141
SOLTOP Schuppisser AG	SOLTOP COBRALINO	1.268	2.455	2.740	0.811	3.64	0.0096	3.113	0.714	3.20	0.0084
Gasokol GmbH	Gasokol gigaSol-S6	2.015	3.008	5.510	0.767	3.65	0.0097	6.061	0.697	3.32	0.0089
Solahart Industries PTY.LTD	Solahart OYSTER Ko	1.950	1.023	1.832	0.746	2.78	0.0214	1.995	0.685	2.55	0.0196
Buderus Heiztechnik AG	Buderus SKN 2.0	2.120	1.135	2.002	0.751	4.15	0.0103	2.406	0.625	3.45	0.0086
H.Lenz AG Solar-und Wärmetechnik	Lenz Multisol 2000	0.959	2.349	1.999	0.807	4.39	0.0074	2.253	0.716	3.90	0.0065
SOLTOP Schuppisser AG	SOLTOP COBRA	1.268	2.455	2.735	0.824	3.66	0.0089	3.113	0.724	3.22	0.0079
Emst Schweizer AG	Ernst Schweizer MV 23 light	2.084	1.226	2.280	0.783	3.72	0.0121	2.555	0.698	3.32	0.0108
SOLTOP Schuppisser AG	SOLTOP COBRALINO X	1.268	2.455	2.740	0.836	3.60	0.0095	3.113	0.736	3.17	0.0084
SOLTOP Schuppisser AG	SOLTOP COBRA X	1.268	2.455	2.735	0.823	3.02	0.0125	3.113	0.723	2.65	0.0110

Chromagen Solar Energy Systems	Chromagen CC-A/F blue	2.200	1.285	2.596	0.779	3.52	0.0136	2.827	0.716	3.23	0.0125
Hoval Herzog AG	Hoval Solkit flachkollektor	0.970	2.453	2.030	0.815	3.66	0.0096	2.379	0.696	3.12	0.0082
SöB & SUN	SöB & SUN IDK	2.065	1.075	1.906	0.807	3.95	0.0072	2.220	0.693	3.39	0.0062
Hoval Herzog AG	Hoval WK 251	2.357	1.081	2.214	0.773	3.41	0.0098	2.548	0.672	2.96	0.0085
Hoval-Werk AG	IDKM 200	1.995	1.015	1.804	0.808	3.83	0.0066	2.025	0.720	3.41	0.0059
Jansen AG	SchücoSol.CH	2.153	1.254	2.508	0.832	4.66	0.0042	2.700	0.773	4.33	0.0039
Senghas, Werner, Solarsysteme	Senghas Optimasol 2,1 Cu	1.058	1.998	1.877	0.809	4.16	0.0049	2.114	0.718	3.69	0.0044
Hassler Alternative Energie GmbH	Hassler Omegasol S	1.230	2.480	2.762	0.796	3.90	0.0090	3.050	0.721	3.53	0.0081
G.M.P.engineering S.A.S.	GMPTC 125-20	2.006	1.022	1.731	0.765	7.31	0.0510	2.050	0.646	6.17	0.0431
Weishaupt GmbH	Weishaupt WTS-F	2.084	1.226	2.280	0.783	3.72	0.0121	2.555	0.698	3.32	0.0108
Plambeck GmbH	A-GK 1150	2.270	5.036	10.656	0.800	3.85	0.0082	11.432	0.745	3.59	0.0077
delta Tec AG	Deltatec Heliotrop	2.001	1.001	1.840	0.781	3.97	0.0076	2.003	0.717	3.65	0.0070
EDWARDS Hot Water PTY LTD	Edwards SV 14	1.980	0.997	1.804	0.802	4.59	0.0098	1.974	0.733	4.19	0.0089
Neosol Energietechnik GmbH	Neosol SE 2000	1.986	0.985	1.876	0.825	4.39	0.0049	1.956	0.791	4.21	0.0047
WIKORA GmbH	WIKORA WIKOSUN 2002-Ti	2.001	1.001	1.840	0.781	3.97	0.0076	2.003	0.717	3.65	0.0070
IMP Klimat d.d.	IMP Klimat SI-SOL 2.0-ST	2.050	1.050	1.992	0.765	5.67	0.0170	2.153	0.708	5.25	0.0158
ESTEC EnergieSparTechnik GmbH & Co.	FK 6250 Prestige	2.065	1.226	2.370	0.772	3.75	0.0047	2.532	0.722	3.51	0.0044

Nau GmbH	BE Pro	2.005	1.064	1.900	0.817	3.87	0.0058	2.133	0.728	3.44	0.0052
Holleis Solartechnik KG	Holleis IDK-Kranmodul	2.033	3.105	5.692	0.812	3.55	0.0079	6.312	0.732	3.20	0.0071
ESTEC EnergieSparTechnik GmbH & Co.	Estec IDKM Integra	1.995	1.015	1.804	0.808	3.83	0.0066	2.025	0.720	3.41	0.0059
Viessmann Werke GmbH & Co	Vitosol 100 5m ² DI	2.043	2.573	4.920	0.809	4.03	0.0071	5.257	0.757	3.77	0.0066
Friap AG	FRIAP 230	2.020	1.212	2.317	0.802	3.95	0.0059	2.448	0.759	3.74	0.0056
Solarsystems srl	Solarsystems 300 I RS2	2.037	1.036	1.911	0.764	3.99	0.0089	2.110	0.692	3.61	0.0081
Buderus Heiztechnik AG	Buderus Logasol SKS 3.0	2.118	1.134	2.169	0.818	4.17	0.0082	2.402	0.739	3.77	0.0074
Gloger + Birke GmbH Systemtechnik	Gloger+Birke Flachkoll.2.45	2.078	1.210	2.233	0.709	4.36	0.0036	2.514	0.630	3.87	0.0032
Sandler Energietechnik GmbH & Co.KG	Sandler S 03	2.300	0.923	1.935	0.854	4.22	0.0105	2.123	0.778	3.85	0.0096
Sunwater AG	Sunwater C-R Panel	0.482	2.019	0.856	0.668	5.55	0.0292	0.973	0.588	4.88	0.0257
Citrin Solar GmbH	CS-100F	1.987	1.046	1.903	0.798	3.34	0.0075	2.078	0.731	3.06	0.0069
Ernst Schweizer AG	Ernst Schweizer AV 23	2.085	1.228	2.282	0.787	3.68	0.0112	2.560	0.702	3.28	0.0100
ROTEX Heating Systems GmbH	ROTEX Solaris V26	1.999	1.302	2.331	0.781	3.84	0.0084	2.603	0.699	3.44	0.0075
Solarenergie Handels u.Montage GesmbH	Solarenergie Kranmodul.IDK	2.033	3.105	5.692	0.812	3.55	0.0079	6.312	0.732	3.20	0.0071
Rosskopf	Rosskopf OEKO	2.062	3.164	5.462	0.770	3.85	0.0108	6.524	0.645	3.22	0.0090

Solar-Sonnenkollektoren	3000										
P.Weissbacher GmbH	DW 580 Standart	2.150	0.935	1.398	0.736	4.32	0.0062	2.010	0.512	3.01	0.0043
P.Weissbacher GmbH	DW 750 Select	2.150	0.935	1.398	0.865	4.46	0.0089	2.010	0.602	3.10	0.0062
EBNER Energie Technik OHG	Ebner P2	2.003	1.005	1.828	0.811	4.43	0.0073	2.013	0.737	4.02	0.0066
Sonnenkraft Vertriebs GmbH	Sonnenkraft SK 500 N Sunselect	2.078	1.238	2.204	0.795	3.63	0.0071	2.573	0.681	3.11	0.0061
Teufel u.Schwarz	Teufel u. Schwarz Eurosol	2.985	2.017	5.512	0.837	3.87	0.0049	6.021	0.766	3.55	0.0045
Winkler Solarsysteme Spenglerei GmbH	Winkler VarioSol A-antereflex	2.010	3.015	5.525	0.825	3.13	0.0152	6.060	0.753	2.86	0.0138
Winkler Solarsysteme Spenglerei GmbH	Winkler VarioSol A	2.010	3.015	5.525	0.795	3.33	0.0128	6.060	0.725	3.04	0.0117
Geo-Tec Solartechnik GmbH	Geo-Tec GSE 2000/TIN	1.985	0.985	1.868	0.805	4.34	0.0023	1.955	0.769	4.15	0.0022
Stiebel Eltron GmbH & Co.KG	SOL 25 Plus	2.233	1.224	2.480	0.789	3.12	0.0142	2.733	0.716	2.83	0.0129
Energiebig Energie-und Umwelttechnik Gr	Energiebig ENZX 54	2.506	0.860	1.859	0.766	4.15	0.0096	2.155	0.661	3.58	0.0083
Vögelin GmbH	Vögelin Aldo 225	2.044	1.239	2.321	0.796	4.27	0.0031	2.533	0.730	3.92	0.0029
SESOL	SESOL FK3.8	1.474	2.933	3.785	0.791	3.79	0.0122	4.323	0.693	3.32	0.0107
SESOL	Quick ST 2.5 e	2.379	1.233	2.486	0.811	3.68	0.0118	2.933	0.688	3.12	0.0100
Vescal SA	Vescal Oertli SKF 225	2.044	1.239	2.321	0.796	4.27	0.0031	2.533	0.730	3.92	0.0029
August Brötje GmbH	Brötje FK 25 R	2.065	1.226	2.370	0.772	3.75	0.0047	2.532	0.722	3.51	0.0044
Sun-Systems GmbH	Sun-Systems Synox	1.985	0.985	1.868	0.805	4.34	0.0023	1.955	0.769	4.15	0.0022

	9000 si										
pro solar Energietechnik GmbH	Pro Solar Eco Star	1.692	1.215	1.923	0.717	3.63	0.0112	2.056	0.671	3.40	0.0105
VELUX A/S	Velux CLI U10 2000	1.628	1.362	1.865	0.820	4.26	0.0089	2.217	0.689	3.58	0.0075
Tecalor GmbH	Tecalor TSK 25 S	2.233	1.224	2.480	0.789	3.12	0.0142	2.733	0.716	2.83	0.0129
Baymak Mak.San.ve Tic.A.S.	Selective Prismatic Collector	2.041	0.997	1.820	0.764	4.70	0.0029	2.035	0.683	4.20	0.0026
Friap AG	Terza	2.044	1.239	2.321	0.796	4.27	0.0031	2.533	0.730	3.92	0.0029
Roro Frank Bauelemente GmbH	RSK	1.442	2.392	2.898	0.766	4.01	0.0056	3.449	0.643	3.37	0.0047
Rehau AG + CO	Solect FK	2.035	2.025	3.705	0.785	3.66	0.0070	4.121	0.706	3.29	0.0063
Avant Garde S.r.l	TECsol SR 020	1.742	1.172	1.885	0.741	2.32	0.0261	2.042	0.684	2.14	0.0241
Immosolar	Immosolar IS-PRO 2000 Tinnox	1.985	0.985	1.868	0.805	4.34	0.0023	1.955	0.769	4.15	0.0022
Altersol Sa	Altersol Terza	2.044	1.239	2.321	0.796	4.27	0.0031	2.533	0.730	3.92	0.0029
IDM-Energiesysteme GmbH	IDM GSE 2000/TIN	1.985	0.985	1.868	0.805	4.34	0.0023	1.955	0.769	4.15	0.0022
Nehs Produktions- & Vertriebs-GmbH	Nehs MAXISUN 2000E	1.985	0.985	1.868	0.805	4.34	0.0023	1.955	0.769	4.15	0.0022
Polster Energietechnik	Polster GPO-TEC 2000	1.985	0.985	1.868	0.805	4.34	0.0023	1.955	0.769	4.15	0.0022
EDWARDS Hot Water PTY LTD	SV	1.980	0.994	1.805	0.759	6.51	0.0256	1.968	0.696	5.97	0.0235
EDWARDS Hot Water PTY LTD	ECO	1.980	0.994	1.805	0.794	4.58	0.0090	1.968	0.728	4.20	0.0082
EDWARDS Hot Water PTY LTD	Titan Plus	1.980	0.995	1.808	0.806	4.10	0.0163	1.970	0.740	3.76	0.0150

Wallnöfer H.F.Energiesysteme	KA88 2002	2.350	1.050	2.309	0.847	4.01	0.0091	2.468	0.792	3.76	0.0085
Gloger + Birke GmbH Systemtechnik	GB 1.0	1.080	1.081	0.999	0.768	4.17	0.0066	1.167	0.658	3.57	0.0056
AKS Doma Solartechnik GmbH	XL-Alu	2.195	2.552	5.011	0.810	3.89	0.0125	5.602	0.725	3.48	0.0112
Filsol Solar Ltd	FS20	2.063	1.063	2.013	0.705	3.95	0.0130	2.193	0.648	3.63	0.0120
Thermolan AG	Synergie-Solar-MK	2.085	1.228	2.282	0.787	3.68	0.0112	2.560	0.702	3.28	0.0100
AKS Doma Solartechnik GmbH	XL-Holzkollektor	2.230	2.600	5.106	0.814	3.54	0.0082	5.798	0.717	3.12	0.0072
Emst Schweizer AG	AH 23-alanod	1.226	2.084	2.286	0.805	3.60	0.0070	2.555	0.720	3.22	0.0063
Wupper-Ring GmbH	Format 100 F	1.987	1.046	1.903	0.798	3.34	0.0075	2.078	0.731	3.06	0.0069
HEWALEX	KS 2000 S/P	2.020	1.040	1.829	0.763	3.82	0.0100	2.101	0.664	3.33	0.0087
GC Sanitär- und Heizungs-Handel-Contor	CosmoSol Bluetec 253	2.065	1.226	2.370	0.772	3.75	0.0047	2.532	0.722	3.51	0.0044
Nau GmbH	Inline IL Pro	2.021	1.004	1.844	0.799	3.24	0.0114	2.029	0.726	2.94	0.0104
Citrin Solar GmbH	CS 200-4F	1.046	1.987	1.903	0.798	3.34	0.0075	2.078	0.731	3.06	0.0069
WIKORA GmbH	Wikosun 2340 T	2.153	1.093	2.142	0.800	4.31	0.0033	2.353	0.728	3.93	0.0030
Westfa Vertriebs-und Verwaltungs-GmbH	ADK25	2.078	1.238	2.204	0.795	3.63	0.0071	2.573	0.681	3.11	0.0061
Thermo Dynamik Solar AG	G32	2.475	1.205	2.764	0.746	4.29	0.0075	2.982	0.692	3.98	0.0069
Foxsolar srl	FXS-C2	2.205	0.885	1.785	0.723	3.95	0.0067	1.951	0.661	3.62	0.0061
Austria Email AG	Sun Light 2500	2.078	1.240	2.316	0.733	3.37	0.0111	2.577	0.659	3.03	0.0100
Baymak A.S.Baxi Group Company	Selective Surface Collector	1.947	0.982	1.686	0.770	4.20	0.0101	1.912	0.679	3.70	0.0089
Teufel & Schwarz	Eurosol	2.756	1.970	4.953	0.816	3.84	0.0082	5.429	0.744	3.50	0.0075
WIKORA GmbH	Wikosun 2020-Mi	2.020	1.002	1.837	0.774	3.83	0.0095	2.024	0.703	3.48	0.0086

Sunerg Solar s.r.l.	H1T	2.007	1.008	1.797	0.762	3.84	0.0080	2.023	0.677	3.42	0.0071
Sunerg Solar s.r.l.	H1TX	2.005	1.290	2.345	0.716	3.87	0.0069	2.586	0.649	3.51	0.0062
NPO Mashinostroyenia	Sokol	2.018	1.010	1.885	0.697	4.24	0.0172	2.038	0.645	3.92	0.0159
Riviera Impianti	EcoSole C2	2.350	1.050	2.309	0.847	4.01	0.0091	2.468	0.792	3.76	0.0085
Sile SPA	RT	1.985	0.985	1.868	0.805	4.34	0.0023	1.955	0.769	4.15	0.0022
Corona Solar GmbH	CS-GFK	2.035	3.133	5.360	0.806	3.70	0.0155	6.375	0.678	3.11	0.0131
Baymak A.S.,Baxi Group Company	Selective Surface Collector	1.945	0.984	1.686	0.751	4.51	0.0095	1.914	0.662	3.97	0.0084
Viridian Solar Limited	V30	2.895	1.168	3.097	0.788	3.77	0.0086	3.381	0.722	3.45	0.0079
Hinteregger-ESTEC Ges.m.b.H.	HGH	1.985	0.985	1.868	0.805	4.34	0.0023	1.955	0.769	4.15	0.0022
Asunim Solar Lda	CTA18	1.945	0.984	1.686	0.751	4.51	0.0095	1.914	0.662	3.97	0.0084
Paradigma s.r.l.	EasySun	2.005	1.290	2.345	0.716	3.87	0.0069	2.586	0.649	3.51	0.0062
Conergy GmbH	Aldo 240	2.095	1.200	2.244	0.778	3.59	0.0096	2.514	0.694	3.20	0.0086
NES New Energy Systems Ltd.	PK SL CL 2.15m2	2.130	1.005	1.897	0.764	3.83	0.0080	2.141	0.677	3.40	0.0071
Max Weishaupt GmbH	WTS-F1 K3	1.227	2.088	2.283	0.827	4.09	0.0055	2.562	0.737	3.65	0.0049
Gruppo Giona SPA	Style Plus V2	1.985	1.045	1.889	0.783	4.36	0.0045	2.074	0.713	3.97	0.0041
A.O.Smith Waterproducts Company BV	AOSP-240	2.095	1.200	2.244	0.778	3.59	0.0096	2.514	0.694	3.20	0.0086
PW Solaris-Export	Solaris	2.020	1.037	1.818	0.802	3.80	0.0067	2.020	0.696	3.30	0.0058
PW Solaris-Export	Solaris	2.020	1.037	1.818	0.802	3.80	0.0067	2.020	0.696	3.30	0.0058
Biotech Energietechnik AG	BFK240	2.095	1.200	2.244	0.778	3.59	0.0096	2.514	0.694	3.20	0.0086
Biotech Energietechnik GmbH	BFK240	2.095	1.200	2.244	0.778	3.59	0.0096	2.514	0.694	3.20	0.0086
Riello S.p.A.	CP25VV	2.078	1.240	2.301	0.753	3.91	0.0030	2.577	0.673	3.49	0.0027

Agila Solar GmbH	Agila FK 100	1.987	1.046	1.903	0.798	3.34	0.0075	2.078	0.731	3.06	0.0069
平均		/	/	/	0.785	3.99	0.0098	/	0.703	3.57	0.0088

1.3.2.2 国外平板型太阳能集热器热性能数据分析

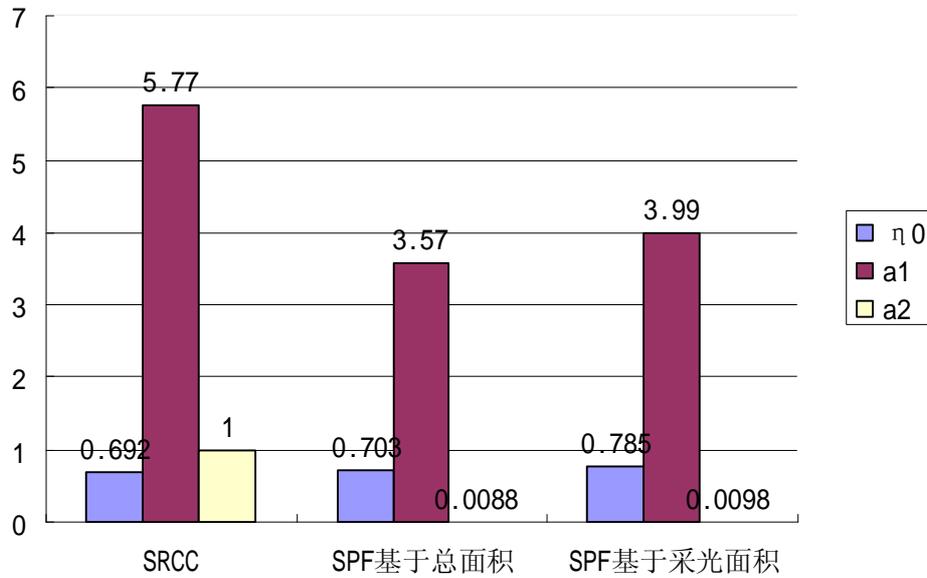


图 7 SRCC 和 SPF 平板型太阳能集热器热性能数据比较

1.4 国内外太阳能集热器热性能数据差异性分析

1.4.1 国内外真空管型太阳能集热器热性能数据差异性分析

从图 2、图 3 和图 6 可以看出，国内的真空管型太阳能集热器的热性能同国外的同类产品差不多，但也有差别，国内真空管型太阳能集热器瞬时效率截距略高于国外真空管型太阳能集热器，热损也高于国外真空管型太阳能集热器，总体来讲，国外的真空管型在工作温度较高时的热性能要好于国内的真空管型太阳能集热器。

1.4.2 国内外平板型太阳能集热器热性能数据差异性分析

从图 4、图 5 和图 7 可以看出，国内的平板型太阳能集热器的热性能比国外的平板型太阳能集热器的热性能查一下，无论是瞬时效率截距还是热损系数国内平板型太阳能集热器都不如国外的平板型太阳能集热器。

第二章 空晒对太阳能集热器热性能的影响

2.1 实验的目的

在自然条件下对太阳能集热器进行空晒试验，从而得出：太阳能集热器在不同的太阳辐照空晒下，集热器热效率的衰减情况。

2.2 实验方案

2.2.1 实验样品

- 1) 平板型太阳能集热器（全铜）1 台；
- 2) 玻璃-金属封接式真空管型太阳能集热器 1 台；
- 3) 热管式真空管型太阳能集热器 1 台；
- 4) U 型管真空管型太阳能集热器 1 台。

2.2.3 样品选取原则

样品为随机选择的样品，由于样品来自不同的生产厂家，测试结果只是产品本身空晒前后性能的对比，不同产品之间的测试数据不具可比性。

2.2.2 实验步骤

1) 对样品的外观、部件进行仔细检查，对样品关键部件进行拍照，将样品存放在样品库，当天气条件满足标准要求时，对样品进行热性能试验！

2) 当天气条件满足标准要求时，按 GB/T 4271-2007 《太阳能集热器热性能试验方法》对样品进行热性能检测。

3) 热性能试验完成后，将样品摆放在无任何遮挡处，样品摆放倾角为 45° ，按 GB/T 17581-2007 《真空管型太阳能集热器》、GB/T 6424-2007 《平板型太阳能集热器》对样品进行空晒试验。

4) 当样品空晒辐照量累计 $200\text{MJ}/\text{m}^2 \sim 250\text{MJ}/\text{m}^2$ 时再次对样品进行热性能试验。

5) 按上述反复对样品进行热性能和空晒试验，整个试验周期为 3 个月。

2.3 实验样品描述

2.3.1 平板型太阳能集热器（全铜）

样 品 描 述			
平板型太阳能集热器（全铜）：			
盖板材料：	玻璃		
盖板层数：	1	层	
盖板厚度：	10	mm	
采光面尺寸：	1950×940	mm	采光面积： 1.83 m ²
总面积尺寸：	2000×1000	mm	总面积： 2.00 m ²
传热工质：	水		
吸热体材料：	电镀黑铬		
样品照片：			
			

2.3.2 玻璃-金属封接式真空管型太阳能集热器

样 品 描 述			
玻璃-金属封接式真空管型太阳能集热器			
集热管根数:	8	根	
排列方式:	竖单排		
采光面积:	1.55	m ²	
总面积:	1.99	m ²	
罩玻璃管:	外径:	Φ100	mm
	结构尺寸:	2000	mm
反射器:	无		
传热工质:	水		
样品照片:			

2.3.3 热管式真空管型太阳能集热器

样 品 描 述			
热管式真空管型太阳能集热器			
集热管根数:	16	根	
排列方式:	竖单排		
采光面积:	1.62	m ²	
总面积:	2.34	m ²	
罩玻璃管:	外径:	Φ58	mm
	结构尺寸:	1800	mm
反射器:	无		
传热工质:	水		
样品照片:			
			

2.3.4 U型管真空管型太阳能集热器

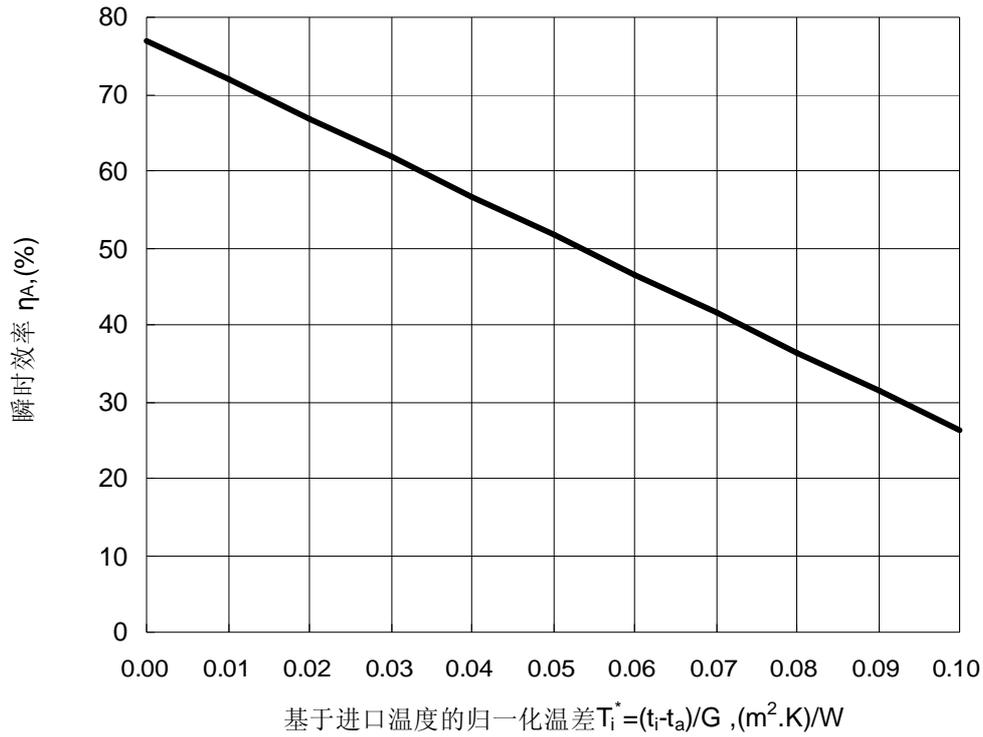
样 品 描 述			
U型管真空管型太阳能集热器			
集热管根数:	16	根	
排列方式:	竖单排		
采光面积:	1.62	m ²	
总面积:	2.34	m ²	
罩玻璃管:	外径:	Φ58	mm
	结构尺寸:	1800	mm
反射器:	无		
传热工质:	水		
样品照片:			
			

2.4 实验数据

2.4.1 平板型太阳能集热器（全铜）

2.4.1.1 第一阶段实验数据整理

基于采光面积 A_a 和集热器进口温度 t_i 的瞬时效率曲线(线性拟合)



该集热器瞬时效率曲线方程为: $\eta_a = 0.769 - 5.055T_i^*$

式中: $T_i^* = (t_i - t_a) / G$;

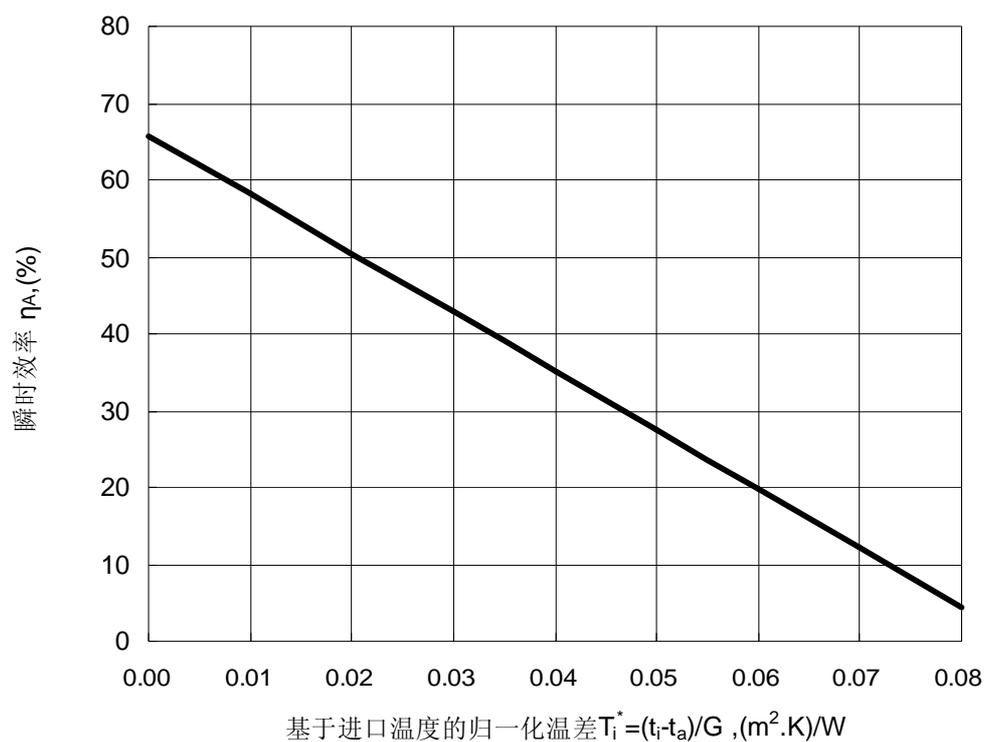
t_i : 工质进口温度, $^{\circ}C$;

t_a : 环境温度, $^{\circ}C$;

G : 集热器采光面上总日射辐照度, W/m^2 。

2.4.1.2 第二阶段实验数据整理

基于采光面积 A_a 和集热器进口温度 t_i 的瞬时效率曲线(线性拟合)



该集热器瞬时效率曲线方程为: $\eta_a = 0.658 - 7.669T_i^*$

式中: $T_i^* = (t_i - t_a) / G$;

t_i : 工质进口温度, °C;

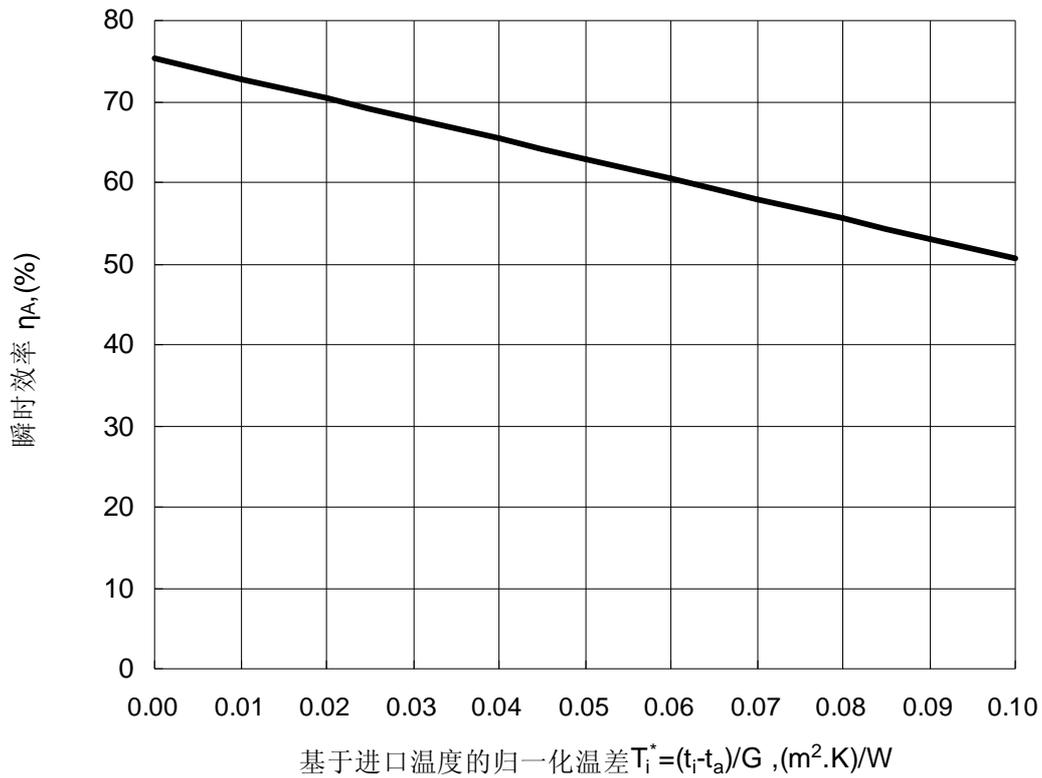
t_a : 环境温度, °C;

G : 集热器采光面上总日射辐照度, W/m^2 。

2.4.2 玻璃-金属封接式真空管型太阳能集热器

2.4.2.1 第一阶段实验数据整理

基于采光面积 A_a 和集热器进口温度 t_i 的瞬时效率曲线(线性拟合)



该集热器瞬时效率曲线方程为: $\eta_a = 0.752 - 2.462T_i^*$

式中: $T_i^* = (t_i - t_a) / G$;

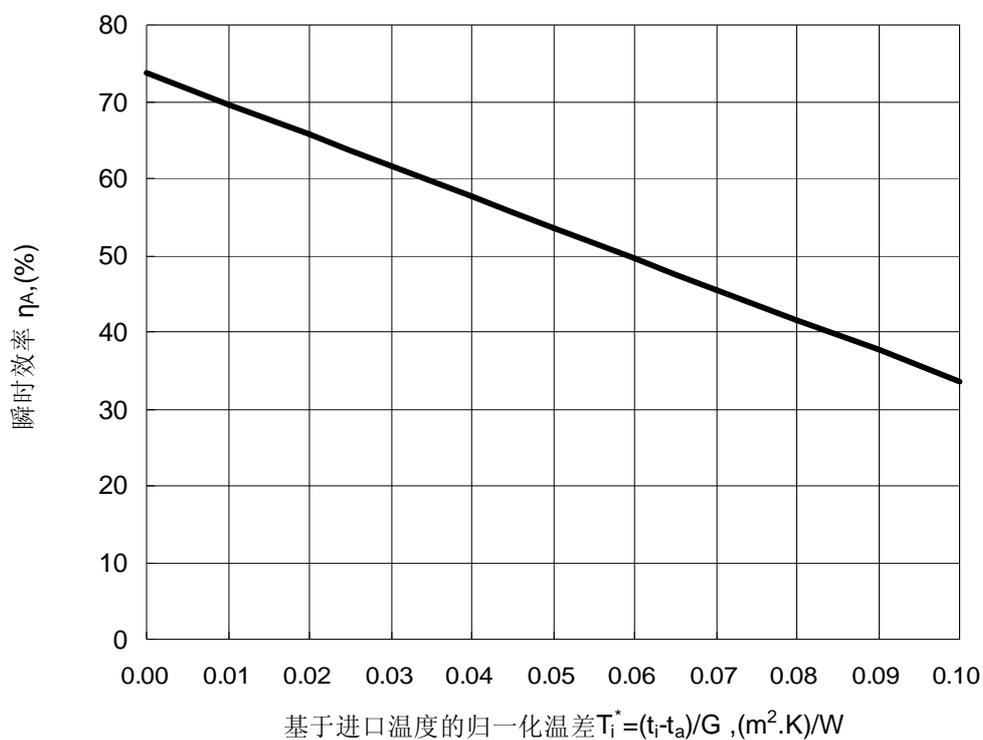
t_i : 工质进口温度, $^{\circ}C$;

t_a : 环境温度, $^{\circ}C$;

G : 集热器采光面上总日射辐照度, W/m^2 。

2.4.2.2 第二阶段实验数据整理

基于采光面积 A_a 和集热器进口温度 t_i 的瞬时效率曲线(线性拟合)



该集热器瞬时效率曲线方程为: $\eta_a = 0.737 - 4.015T_i^*$

式中: $T_i^* = (t_i - t_a) / G$;

t_i : 工质进口温度, °C;

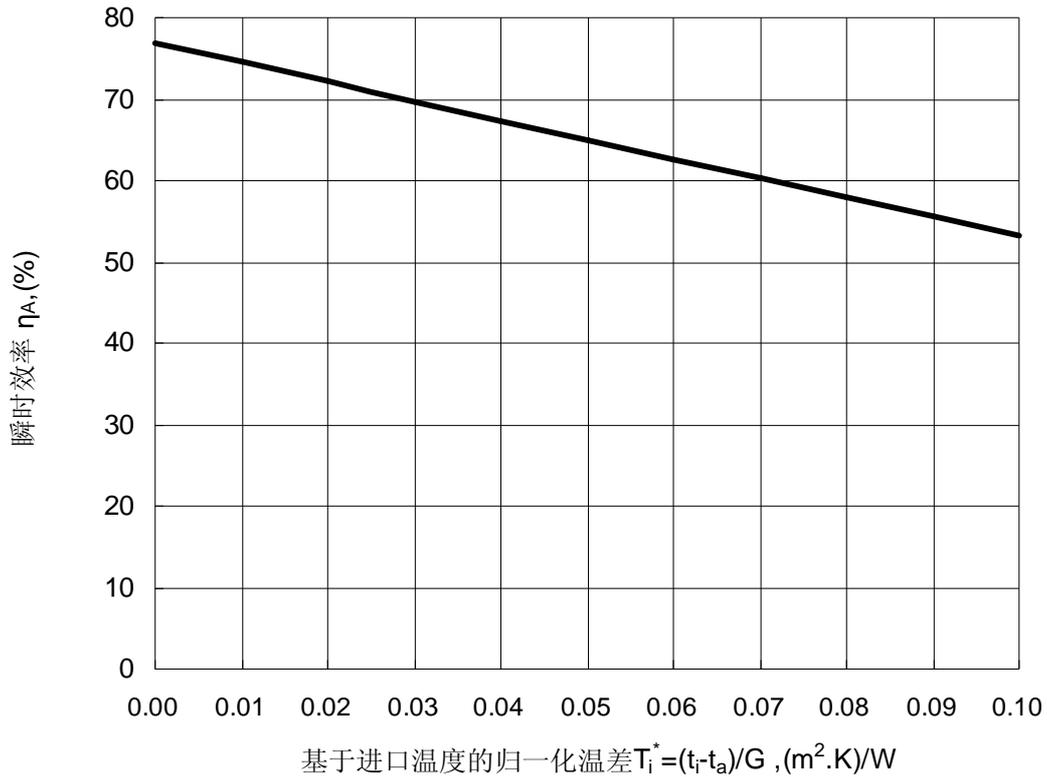
t_a : 环境温度, °C;

G : 集热器采光面上总日射辐照度, W/m^2 。

2.4.3 热管式真空管型太阳能集热器

2.4.3.1 第一阶段实验数据整理

基于采光面积 A_a 和集热器进口温度 t_i 的瞬时效率曲线(线性拟合)



该集热器瞬时效率曲线方程为: $\eta_a = 0.768 - 2.361T_i^*$

式中: $T_i^* = (t_i - t_a) / G$;

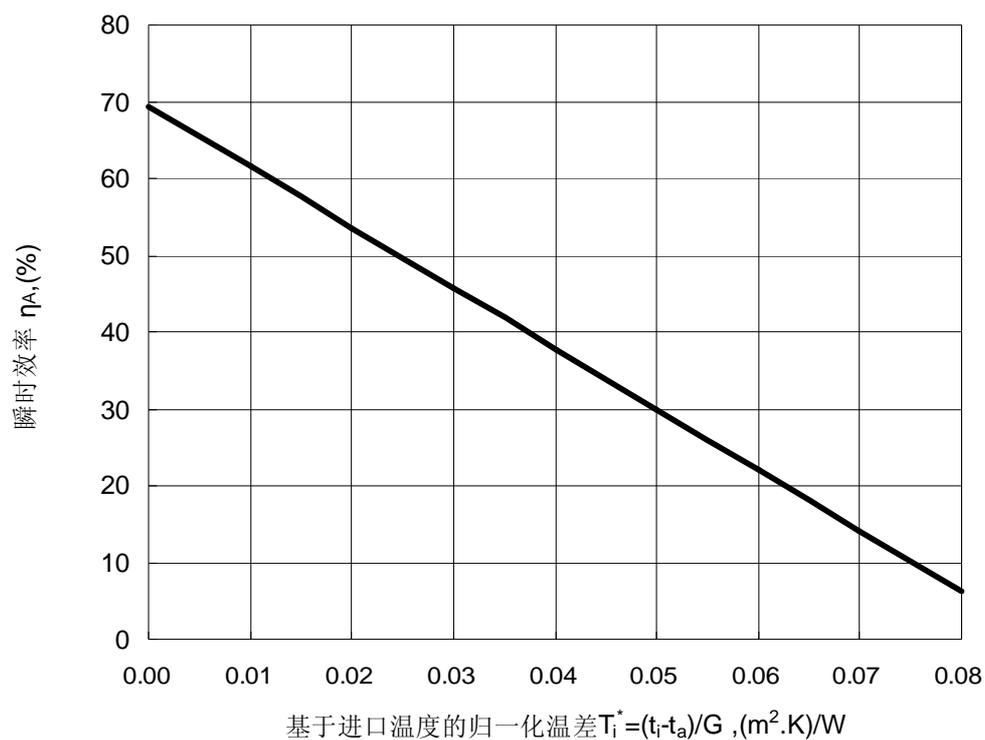
t_i : 工质进口温度, $^{\circ}C$;

t_a : 环境温度, $^{\circ}C$;

G : 集热器采光面上总日射辐照度, W/m^2 。

2.4.3.2 第二阶段实验数据整理

基于采光面积 A_a 和集热器进口温度 t_i 的瞬时效率曲线(线性拟合)



该集热器瞬时效率曲线方程为: $\eta_a = 0.694 - 7.910T_i^*$

式中: $T_i^* = (t_i - t_a) / G$;

t_i : 工质进口温度, °C;

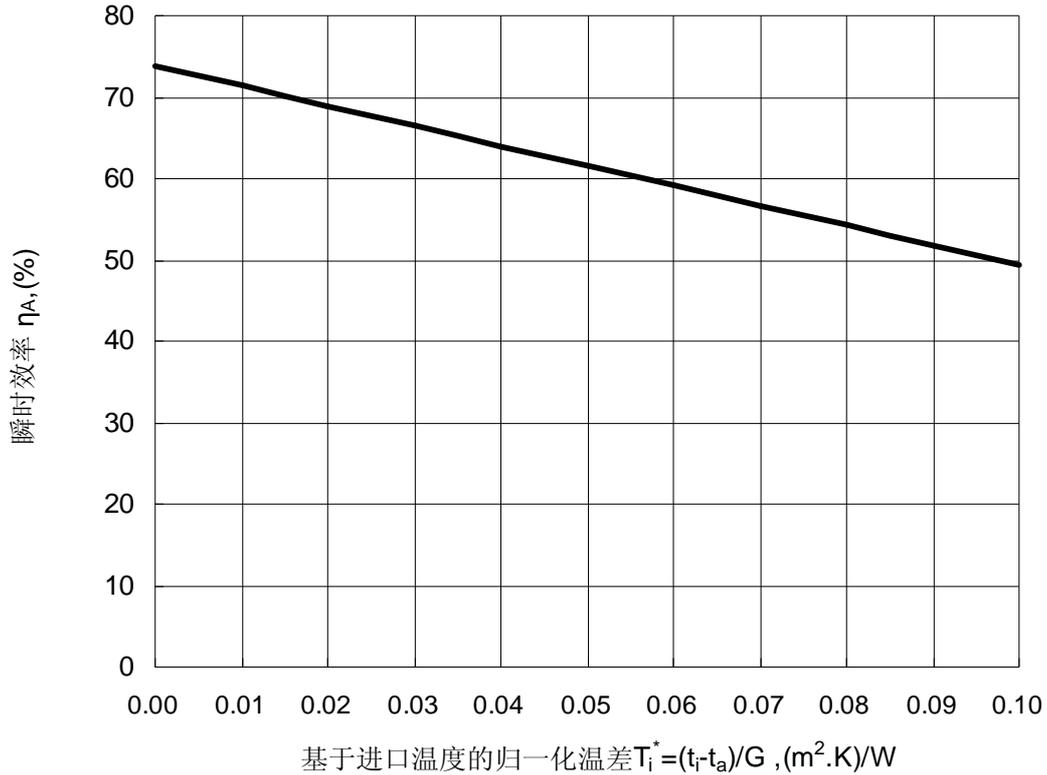
t_a : 环境温度, °C;

G : 集热器采光面上总日射辐照度, W/m²。

2.4.4 U型管真空管型太阳能集热器

2.4.4.1 第一阶段实验数据整理

基于采光面积 A_a 和集热器进口温度 t_i 的瞬时效率曲线(线性拟合)



该集热器瞬时效率曲线方程为: $\eta_a=0.738-2.444T_i^*$

式中: $T_i^* = (t_i - t_a) / G$;

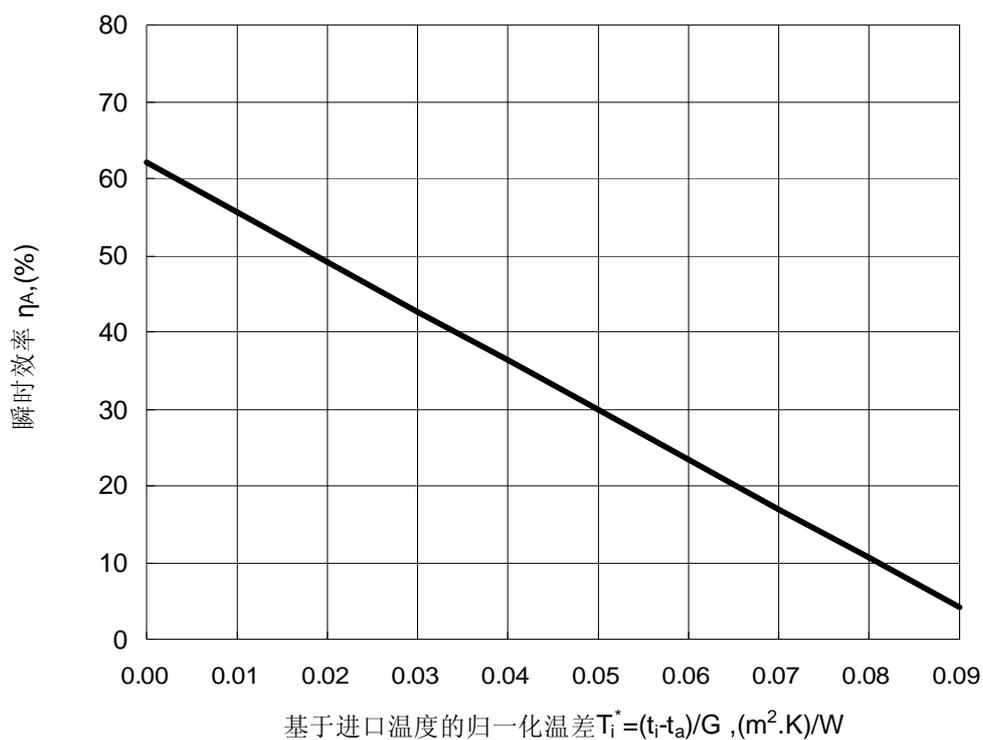
t_i : 工质进口温度, $^{\circ}C$;

t_a : 环境温度, $^{\circ}C$;

G : 集热器采光面上总日射辐照度, W/m^2 。

2.4.4.2 第二阶段实验数据整理

基于采光面积 A_a 和集热器进口温度 t_i 的瞬时效率曲线(线性拟合)



该集热器瞬时效率曲线方程为: $\eta_a = 0.620 - 6.438T_i^*$

式中: $T_i^* = (t_i - t_a) / G$;

t_i : 工质进口温度, °C;

t_a : 环境温度, °C;

G : 集热器采光面上总日射辐照度, W/m²。

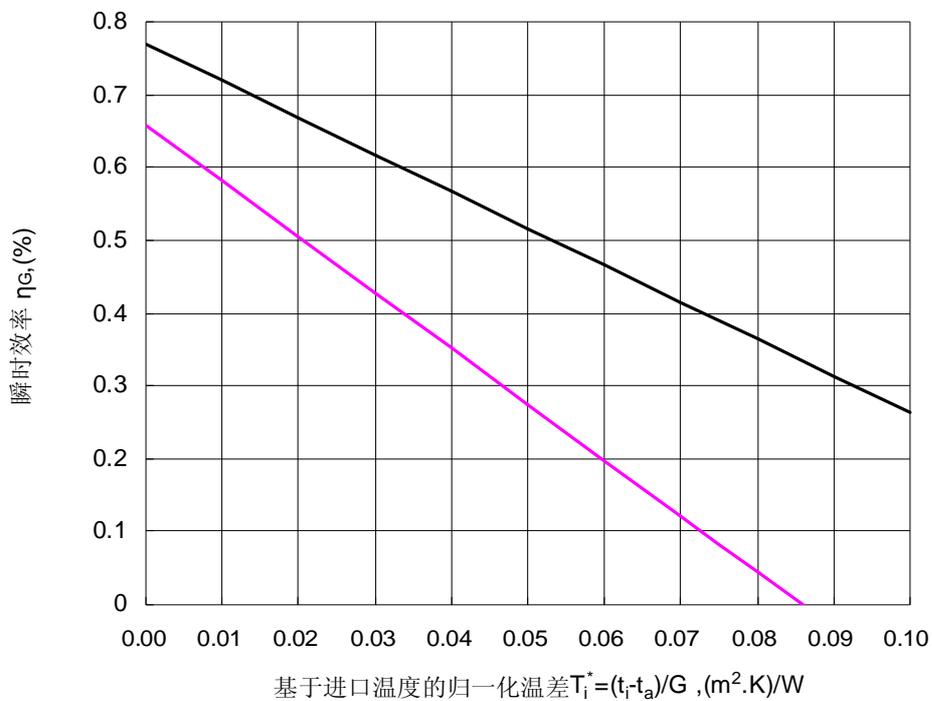
2.5 实验数据分析

根据实际的天气情况对集热器空晒前后的热效率进行测试，具体的测试周期及期间的气象参数汇总见表 2-1。

表 2-1 样品测试周期及测试气象参数汇总

太阳能集热器类型	平板型	玻璃-金属封接式真空管型	热管式真空管型	U型管真空管型
第一次热效率测试日期	7月12日	6月6日	4月14日	2月26日
第二次热效率测试日期	10月8日	10月27日	9月12日	10月24日
测试期间太阳能辐照量 (MJ/m ²)	1170	1887	1404	1954
测试期间环境温度 (°C)	25.2	24.2	26.7	24.3
持续时间 (天)	86	143	151	241
平均太阳辐照量 (MJ/m ²)	13.6	13.2	9.3	8.1

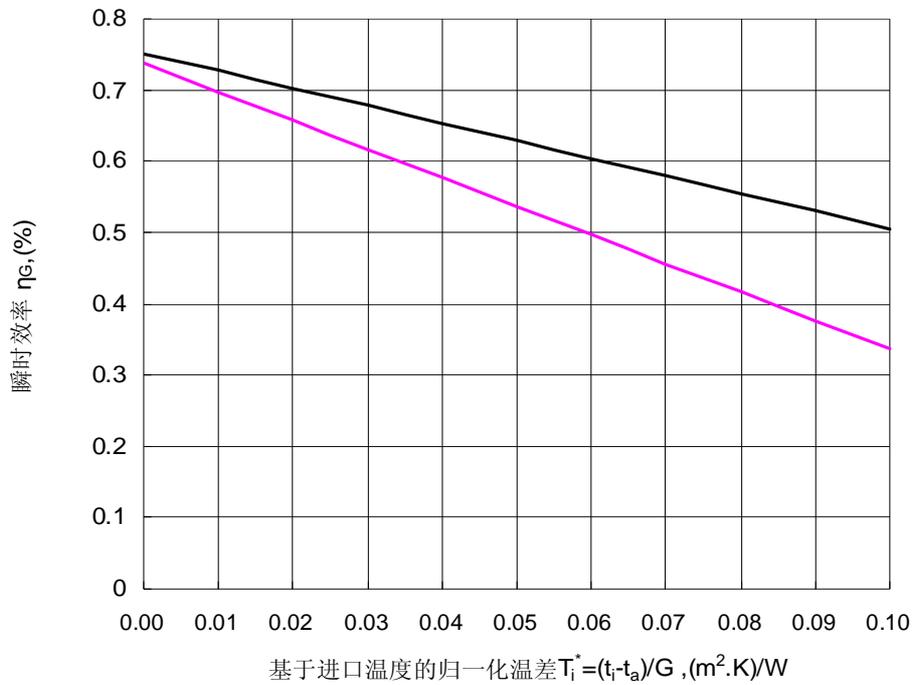
四种类型的太阳能集热器空晒前后太阳能集热器效率变化见下图。



第一次: $\eta_a = 0.769 - 5.055T_i^*$

第二次: $\eta_a = 0.658 - 7.669T_i^*$

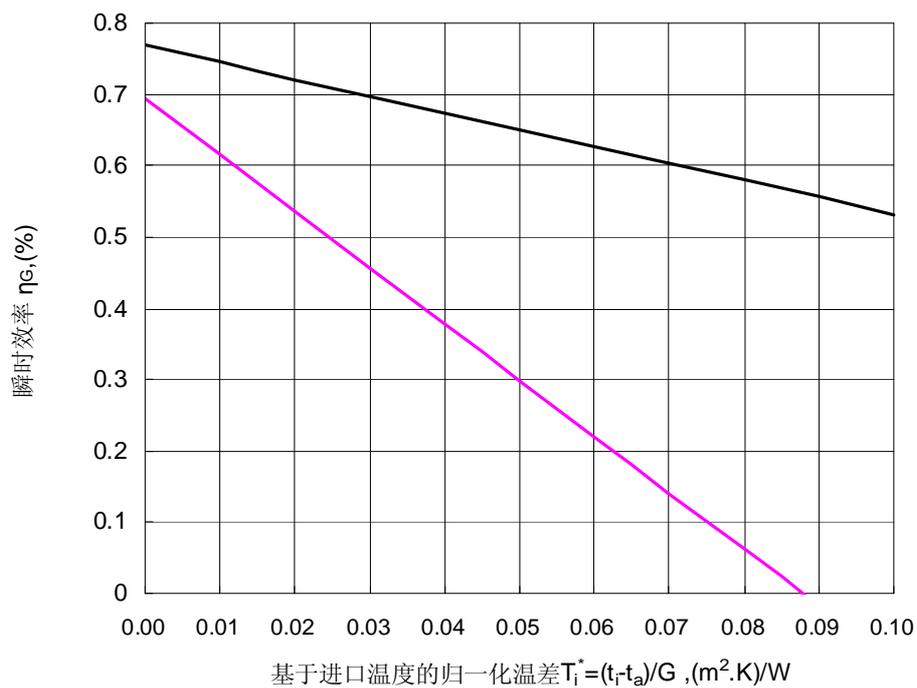
平板型太阳能集热器空晒前后效率变化



第一次: $\eta_a = 0.752 - 2.462T_i^*$

第二次: $\eta_a = 0.737 - 4.015T_i^*$

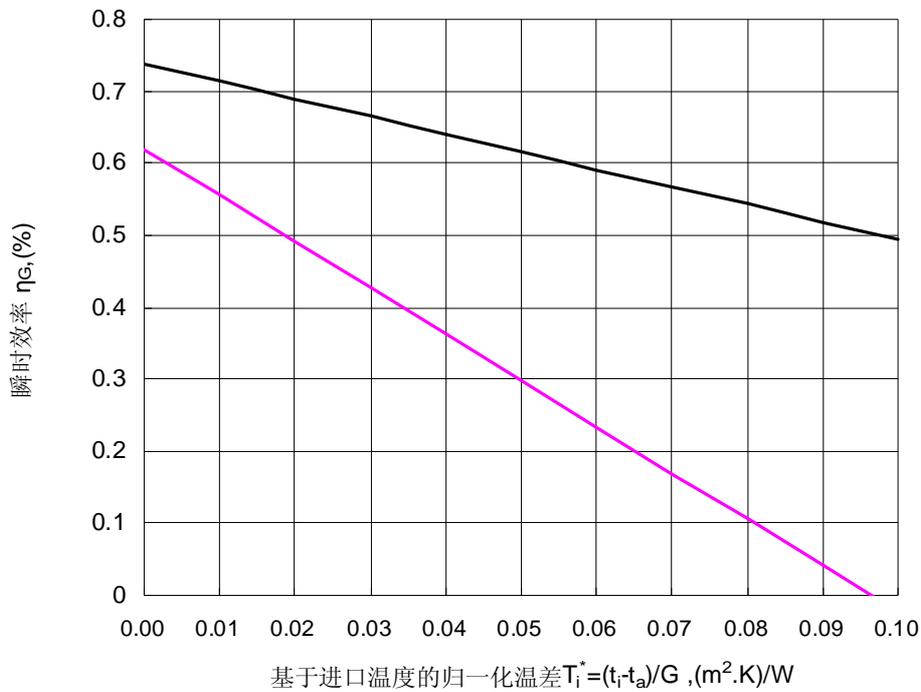
玻璃-金属封接式真空管型太阳能集热器空晒前后效率变化



第一次: $\eta_a = 0.768 - 2.361T_i^*$

第二次: $\eta_a = 0.694 - 7.910T_i^*$

热管式真空管型太阳能集热器空晒前后效率变化



第一次: $\eta_a = 0.738 - 2.444T_i^*$

第二次: $\eta_a = 0.620 - 6.438T_i^*$

U型管真空管型太阳能集热器空晒前后效率变化

取归一化温差 $T_i^* = 0.08$ ，相当于太阳能集热器的工作温度在 80°C 左右，四种类型的太阳能集热器空晒前后的太阳能集热器的热效率变化见表 2-2。

表 2-2 $T_i^* = 0.08$ 时四种类型的太阳能集热器空晒前后太阳能集热器热效率变化

太阳能集热器类型	平板型	玻璃-金属封接式真空管型	热管式真空管型	U型管真空管型
第一次热效率	0.365	0.542	0.579	0.555
第二次热效率	0.044	0.105	0.061	0.416

从上面的分析中可以看出，空晒之后所有集热器的热性能均有所下降。

2.6 实验结论

根据以上四种类型集热器热性能数据可以看出，全新的集热器样品热性能试验能够符合国家标准要求。但是经过长期暴晒后，集热器热性能明显下降，尤其是集热器的热损系数均大幅度增加。

第三章 选择性吸收涂层性能对比研究

3.1 选择性涂层的功能

太阳选择性吸收涂层具有高的太阳吸收比和低的发射率的涂层，从光谱选择性表面的设计方案与机理可以分为以下几种类型：化学转化、电镀、喷涂热分解、阳极氧化、无机着色、真空蒸发与磁控溅射等。

太阳选择性吸收涂层被广泛的运用到平板型太阳能集热器与真空管型太阳能集热器吸热体上。平板型太阳能集热器吸热体选择性吸收涂层的目前应用最多的工艺有电镀和阳极氧化，真空管集热器吸热体选择性吸收涂层采用磁控溅射工艺。

3.2 涂层性能试验方法

测量平板型太阳能集热器吸热体选择性吸收涂层的太阳吸收比和红外发射率的方法是：按照 GB/T 6424-2007《平板型太阳能集热器》标准进行检测。

太阳吸收比试验方法：检测选择性吸收涂层太阳吸收比是通过配积分球装置的分光光度计测定其光谱反射比，并按式（1）计算涂层的太阳反射比：

$$r = \frac{\int_{300}^{2500} S_l \cdot r(l) dl}{\int_{300}^{2500} S_l dl} \dots\dots\dots (1)$$

式中： r ——太阳反射比，无因次；

$r(l)$ ——光谱反射比，无因次；

S_l ——太阳辐射相对光谱分布， nm^{-1} ；

l ——波长， nm 。

再按式（2）计算涂层的太阳吸收比：

$$a = 1 - r \dots\dots\dots (2)$$

式中： a ——太阳吸收比，无因次。

3.3 涂层法向发射率测试方法

吸热体涂层红外发射率按照 GB/T 19775-2005 的规定进行测试。

3.4 涂层老化实验方案

1) 试验样品

全铜电镀黑铬选择性吸收涂层 1 片；

全铝电镀黑铬选择性吸收涂层 1 片；

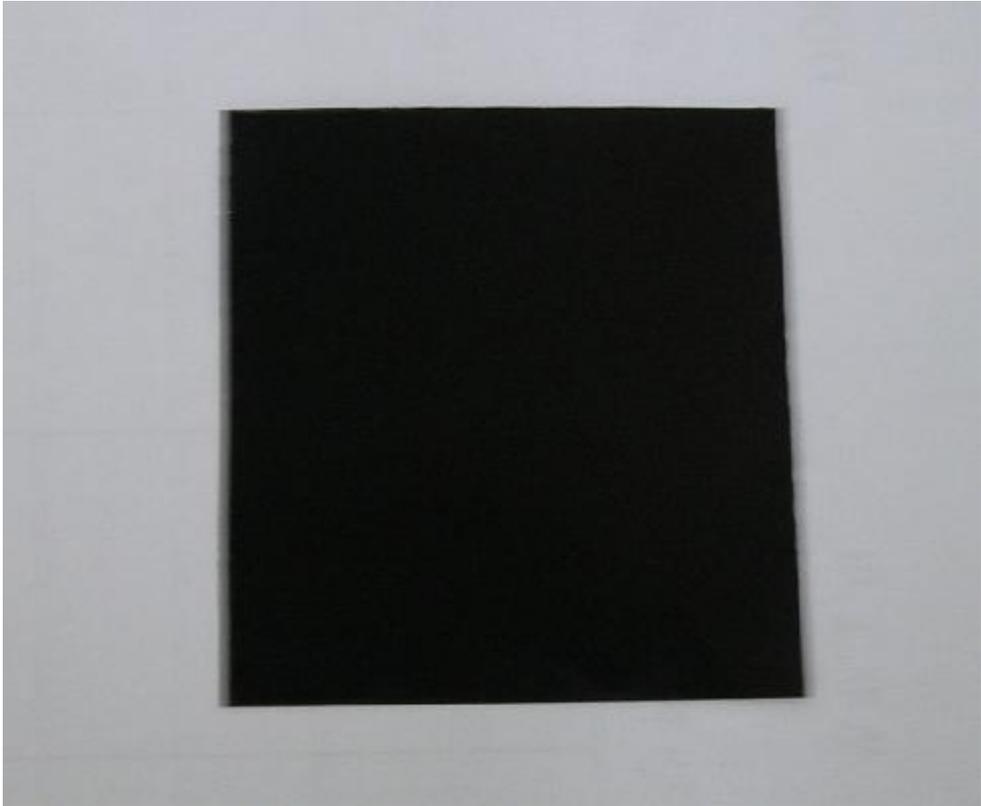
全铜磁控溅射选择性吸收涂层 1 片；

2) 试验步骤

将准备好的样品进行吸收比和发射比检测，当检测完后摆放在室外无任何遮挡处进行空晒，同时记录太阳辐照量、环境温度、风速，当辐照量达 $300\text{MJ}/\text{m}^2$ 左右时，在对样品进行吸收比和发射比检测，检测完后在按上述进行空晒，反复进行上面所述进行检测，检测周期为 3 个月。

3.5 样品描述

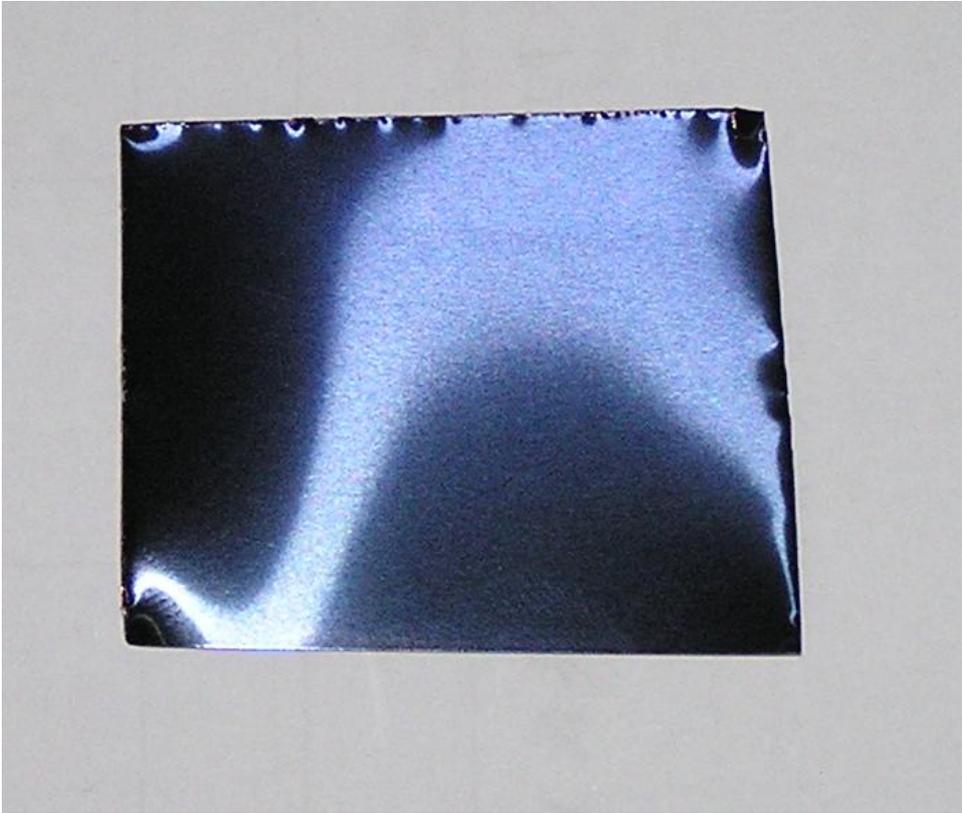
3.5.1 全铜电镀黑铬选择性吸收涂层

太阳吸收比	0.93
红外发射率	0.09
基材:	铜
涂层:	电镀黑铬
样品照片:	
	

3.5.2 全铝电镀黑铬选择性吸收涂层

太阳吸收比	0.93
红外发射率	0.14
基材:	铜
涂层:	电镀黑铬
样品照片:	
	

3.5.3 全铜磁控溅射选择性吸收涂层

太阳吸收比	0.95
红外发射率	0.07
基材:	铜
涂层:	电镀黑铬
样品照片:	
	

3.6 第一阶段试验数据整理

按照 GB/T 19775-2005 对样品进行法向发射率检测, 检测数据如下:

样品名称	太阳吸收比 α	发射率 e
全铜电镀黑铬选择性吸收涂层	0.93	0.09
全铝电镀黑铬选择性吸收涂层	0.93	0.14
全铜磁控溅射选择性吸收涂层	0.95	0.07

3.7 第二阶段试验数据整理

3.7.1 室外环境数据统计

日期	累计辐照量 MJ/m ²	平均环境温度 °C	平均风速 m/s
5.19	13.30	22.8	0.99
5.20	12.83	23.1	1.43
5.21	20.44	25.7	1.13
5.22	17.81	24.8	0.74
5.23	14.11	26.3	0.64
5.24	21.65	27.5	0.88
5.25	20.12	28.1	0.90
5.26	12.87	26.9	1.26
5.27	18.86	25.2	1.54
5.28	23.42	24.9	1.61
5.29	21.55	20.7	2.56
5.30	22.85	23.5	1.48
5.31	16.01	24.0	1.10
6.1	15.17	21.5	1.52
6.2	16.77	21.6	0.72
6.3	4.4	17.8	0.71
6.4	18.06	21.3	0.73
6.5	15.15	23.2	0.81
累计值	305.37	/	/
平均值	/	23.8	1.15

3.7.2 涂层太阳吸收比测试结果

样品在室外放置 18 天，累计太阳辐照量为 305.37 MJ/m² 时，再对样品进行太阳吸收比和发射率检测，检测数据如下：

样品名称	太阳吸收比 a	发射率 e
全铜电镀黑铬选择性吸收涂层	0.92	0.10
全铝电镀黑铬选择性吸收涂层	0.92	0.15
全铜磁控溅射选择性吸收涂层	0.94	0.07

3.8 第三阶段试验数据整理

3.8.1 室外环境数据统计

日期	累计辐照量 MJ/m ²	平均环境温度 °C	平均风速 m/s
7.7	22.93	30.7	0.54
7.8	15.34	29.1	0.51
7.9	3.12	24.9	0.38
7.10	9.65	27.2	0.35
7.11	12.61	29.0	0.47
7.12	7.69	27.8	0.36
7.13	23.84	30.7	0.78
7.14	18.06	30.6	0.62
7.15	5.25	22.9	0.71
7.16	26.58	26.0	0.75
7.17	20.92	29.2	0.70
7.18	19.32	30.2	0.63
7.19	17.85	26.2	0.44
7.20	26.65	27.6	0.62
7.21	14.91	27.6	0.51
7.22	18.86	29.1	0.57
7.23	20.46	30.1	0.79
7.24	17.55	29.8	0.78
7.25	15.69	29.8	0.69
7.26	12.54	30.4	0.69
7.27	17.33	31.1	0.85
累计值	347.15	/	/
平均值	/	28.6	0.61

3.8.2 涂层太阳吸收比测试结果

样品在室外放置 20 天，累计太阳辐照量为 347.15 MJ/m² 时，再对样品进行太阳吸收比和发射率检测，检测数据如下：

样品名称	太阳吸收比 a	发射率 e
全铜电镀黑铬选择性吸收涂层	0.91	0.12
全铝电镀黑铬选择性吸收涂层	0.90	0.16
全铜磁控溅射选择性吸收涂层	0.93	0.09

3.9 第四阶段试验数据整理

3.9.1 室外环境数据统计

日期	累计辐照量 MJ/m ²	平均环境温度 °C	平均风速 m/s
8.5	10.26	29.6	0.71
8.6	23.11	30.2	0.69
8.7	11.26	29.1	0.53
8.8	9.85	29.9	0.62
8.9	12.90	30.9	0.82
8.10	0.18	28.3	0.88
8.11	2.07	24.5	0.77
8.12	24.24	26.4	0.62
8.13	22.71	26.0	0.49
8.14	22.58	27.5	0.46
8.15	14.59	27.1	0.76
8.16	23.28	26.7	0.57
8.17	24.13	29.1	0.60
8.18	20.96	28.0	0.86
8.19	20.10	26.7	0.69
8.20	20.59	26.0	0.54
8.21	13.39	26.0	0.41
8.22	25.79	23.3	0.79
8.23	24.92	25.5	0.55
8.24	23.41	27.3	0.59
累计值	350.33	/	/
平均值	/	27.4	0.65

3.9.2 涂层太阳吸收比测试结果

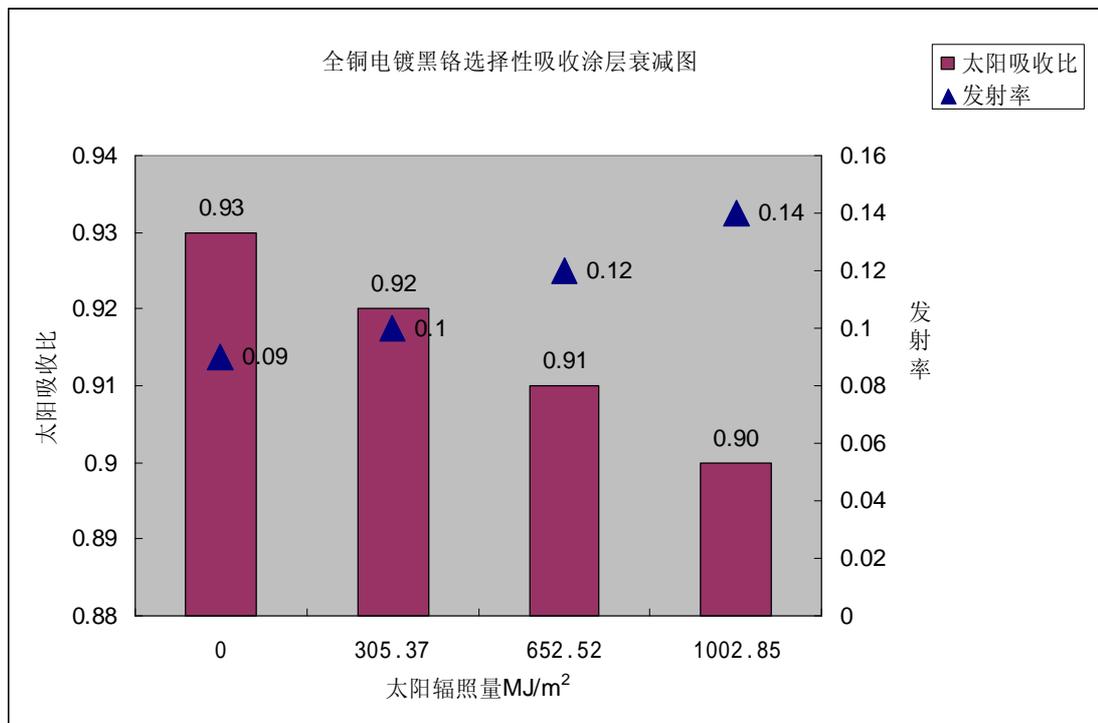
样品在室外放置 19 天，累计太阳辐照量为 350.33 MJ/m^2 时，再对样品进行太阳吸收比和发射率检测，检测数据如下：

样品名称	太阳吸收比 a	发射率 e
全铜电镀黑铬选择性吸收涂层	0.90	0.14
全铝电镀黑铬选择性吸收涂层	0.89	0.18
全铜磁控溅射选择性吸收涂层	0.92	0.11

3.10 涂层老化实验结果分析

3.10.1 全铜电镀黑铬选择性吸收涂层

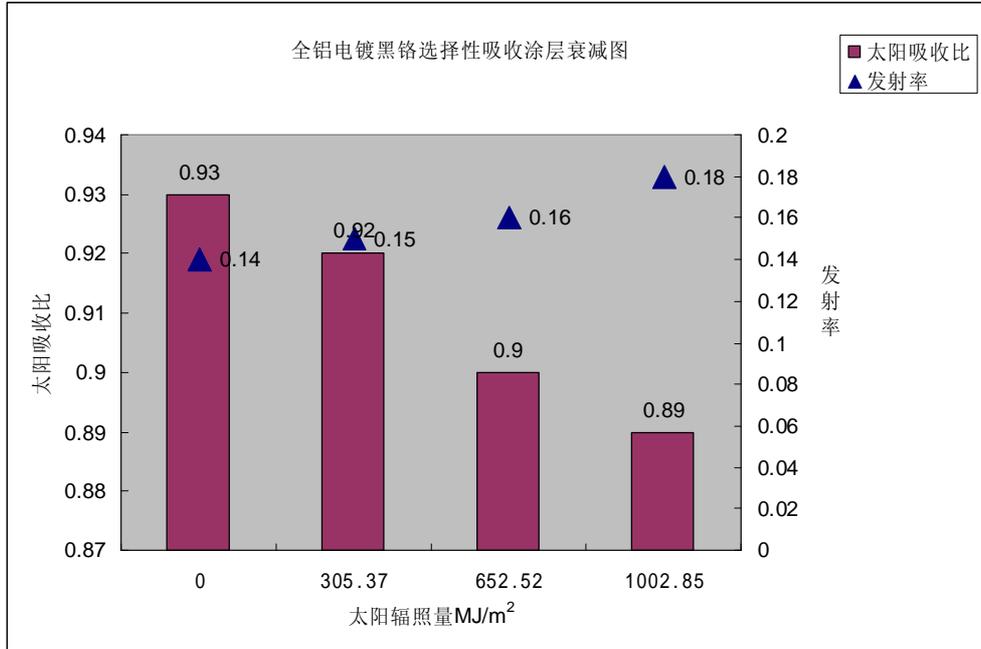
测试期间,全铜电镀黑铬涂层在累计太阳辐照量为 1002.85 MJ/m^2 的条件下空晒，涂层的太阳吸收比和发射率均发生了衰减,衰减情况见下图：



从图中可以看出：全铜电镀黑铬选择性吸收涂层在室外空晒太阳辐照量累计达 1002.85 MJ/m^2 ，太阳吸收比从 0.93 降到 0.90。发射率从 0.09 升到 0.14。

3.10.2 全铝电镀黑铬选择性吸收涂层

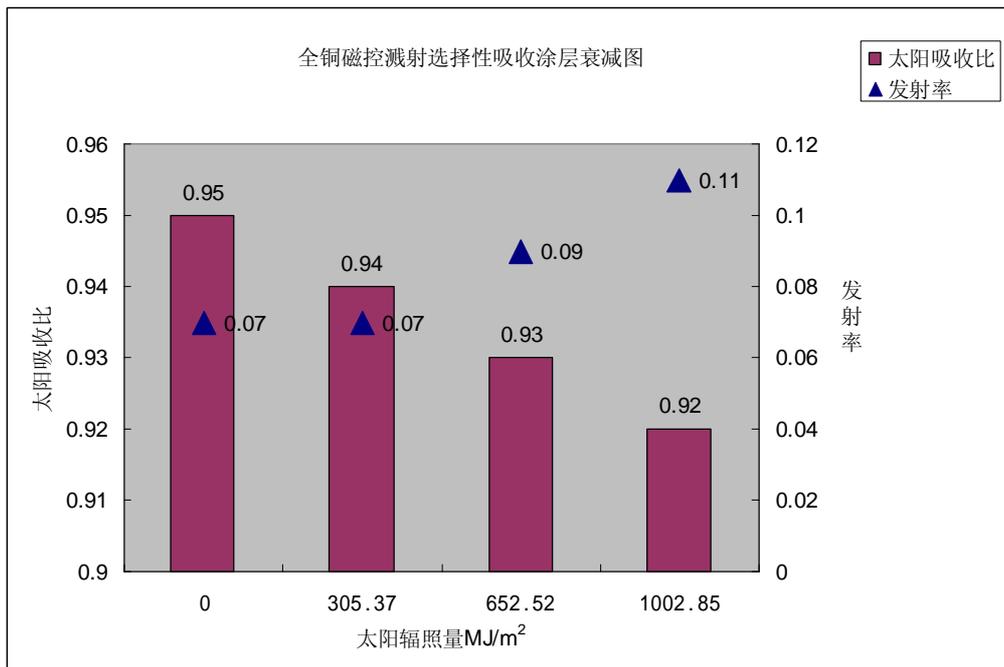
测试期间,全铝电镀黑铬涂层在累计太阳辐照量为 1002.85 MJ/m^2 的条件下空晒，涂层的太阳吸收比和发射率均发生了衰减,衰减情况见下图：



从图中可以看出：全铝电镀黑铬选择性吸收涂层在室外空晒太阳辐照量累计达 1002.85 MJ/m^2 ，太阳吸收比从 0.93 降到 0.89。发射率从 0.14 升到 0.18。

3.10.3 全铜磁控溅射选择性吸收涂层

测试期间，全铜磁控溅射选择性吸收涂层在累计太阳辐照量为 1002.85 MJ/m^2 的条件下空晒，涂层的太阳吸收比和发射率均发生了衰减,衰减情况见下图：



从图中可以看出：全铜磁控溅射选择性吸收涂层在室外空晒太阳辐照量累计达

1002.85MJ/m²，太阳吸收比从 0.95 降到 0.92。发射率从 0.07 升到 0.11。

3.11 涂层老化试验结论

通过以上测试数据分析，可以得出如下结论：

全铜磁控溅射选择性吸收涂层比电镀黑铬选择性吸收涂层性能要好；空晒对全铜磁控溅射选择性吸收涂层的太阳吸收比和红外发射率的影响效果低于对全铜或全铝电镀黑铬选择性吸收涂层的太阳吸收比和红外发射率影响。

第四章 太阳能集热器在工程中的应用效果分析

本文着重介绍了北京、云南、唐山等地的太阳能热水系统，系统形式主要有：采用平板型太阳能集热器、真空管型太阳能集热器作为集热元件，集热器连接方式采用并联连接，强制循环系统，带电加热辅助，日照不足及阴雨天气时保障热水供应。工程详细情况如下：

4.1 平板型太阳能集热器工程应用效果分析

4.1.1 北京某工程

1 基本概况

1.1 工程简介

本项目位于北京市平谷区，为二层建筑，共 71 户，每户建筑面积 175 m^2 ，每户配置采暖/热水水箱容积 1.5t ，内套 90L 承压生活热水水箱，采暖系统采用低温热水地板辐射采暖，辅助能源为电。太阳能集热系统集热器安装在屋顶坡屋面上，朝南 30° 安装。单块集热器轮廓采光面积均为 3.46 m^2 ，总面积均为 4.00 m^2 ，共 7 块，该建筑集热器轮廓采光总面积为 24.21 m^2 ，总面积为 28.00 m^2 ，太阳能系统收集的热量用于生活热水和地板采暖。

被测建筑的太阳能集热系统形式为强制直接循环系统，采用平板型太阳能集热器，集热器连接方式采用串联连接。系统辅助热源为电。



建筑全景照片

1.2 测试期间室外气象条件

测试期间室外空气平均环境温度为 8.4℃，平均风速为 0.86m/s，平均日太阳辐照量为 16.8MJ/m²。

1.3 测试对象

本项目共 71 户住户，每个住户设计 1 个系统，共 71 个系统。系统主要有以下几部分组成：

集热器总面积为 28m²、1500L 贮热水箱、自动控制系统、电加热器。

1.4、检测项目

- 1) 集热系统得热量；
- 2) 系统常规热源耗能量；
- 3) 贮热水箱热损系数；
- 4) 集热系统效率；
- 5) 太阳能保证率。

2 检测依据

2.1 参照 GB/T 18713-2002 《太阳热水系统设计、安装及工程验收技术规范》

2.2 参照 GB/T 20095-2006 《太阳热水系统性能评定规范》

2.3 参照 GB/T19141-2003 《家用太阳热水系统技术条件》

3 检测结果

3.1 检测期间的试验条件和集热系统得热量、集热系统效率、太阳能保证率、系统常规能源耗能量、生活热水耗热量、采暖系统耗热量数据见下表：

检测日期	环境温度℃	太阳辐照量 (MJ/m ²)	集热系统得热量 (MJ)	采暖系统耗热量 (MJ)	生活热水耗热量 (MJ)	常规能源耗热量 (MJ)	集热系统效率	太阳能保证率
2.21	7.1	12.6	133.9	361.1	11.9	247.3	0.44	0.36
2.23	6.8	17.5	109.4	119.5	34.9	68.4	0.26	0.71
2.24	5.8	7.0	38.16	140.4	0.7	184.3	0.23	0.27
3.6	9.7	22.1	238.3	360.0	5.8	157.7	0.45	0.65

3.2 检测期间的采暖房间室内温度数据见下表：

日期	室外环境温度℃	二层客厅环境温度℃	一层客厅环境温度℃	二层北屋环境温度℃	室外风速 m/s
2.21	7.1	15.9	18.0	14.6	0.85
2.23	6.8	16.5	17.8	16.3	1.11
2.24	5.8	14.7	18.2	14.1	0.65
3.6	9.7	19.3	19.8	17.7	0.72



记录太阳辐照量的总辐射表



记录耗热量的热量表



采暖房间室内温度的温度自记仪



记录耗电量的电度表

4.1.2 北京某工程

1 基本情况

1.1 工程简介

本系统安装于北京市昌平区，为独栋 2 层复式建筑，总建筑面积 183.244 平方米，太阳能集热系统集热器分东、南、西三个朝向安装，其中东西两面均安装三块集热器，轮廓采光面积均为 8.88 m²，南向安装 10.5 块集热器，轮廓采光面积为 54.18 m²，总轮廓采光面积为 71.94 m²，太阳能系统收集的热量用于地板采暖。

太阳能热水系统南向为强制循环系统，东、西向为闷晒式系统，采用平板型太阳能集热器，集热器连接方式采用串联连接。系统收集的热量进入地下储水池中，由采暖循环泵给建筑供暖。系统无辅助热源。

1.2 测试期间室外气象条件

测试期间室外空气平均环境温度为 12.8℃，平均日太阳辐照量为 17.81MJ/m²。

1.3 检测项目

- 1) 太阳能集热系统效率；
- 2) 太阳能采暖系统保证率；
- 3) 建筑室内外温度。

2 检测依据

2.1 参照 GB/T 18713-2002 《太阳热水系统设计、安装及工程验收技术规范》

2.2 参照 GB/T 20095-2006 《太阳热水系统性能评定规范》

2.3 参照 GB/T19141-2003 《家用太阳热水系统技术条件》

3 检测结果

3.1 检测期间的环境温度、集热系统得热量、集热系统效率、采暖耗热量和单位面积耗热量见下表：

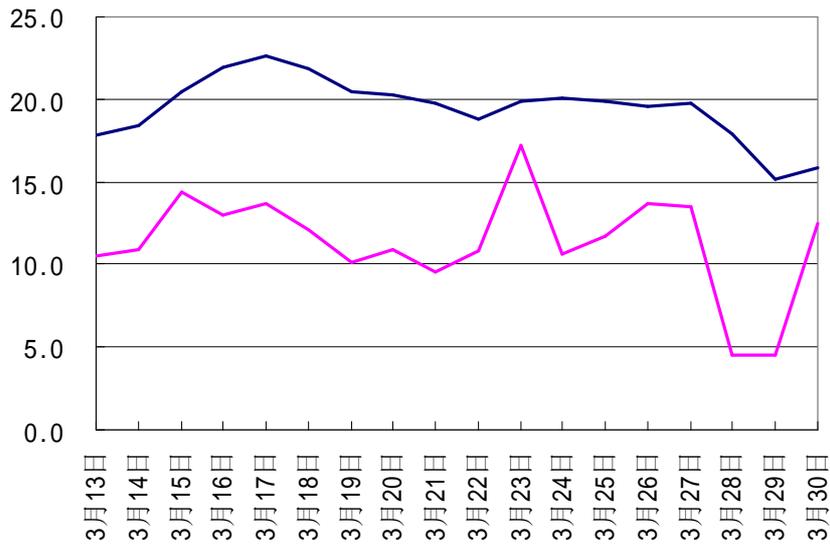
检测日期	环境温度 ℃	集热系统 得热量 MJ	集热系统 效率	采暖耗热量 MJ	单位面积 耗热量 W/m ²
3月15日	14.3	195.32	0.16	288	18.21
3月16日	13.0	109.21	0.11	324	20.49
3月17日	13.7	168.02	0.22	288	18.21
3月19日	10.2	115.51	0.15	180	11.38
3月20日	10.9	50.40	0.07	144	9.11
3月23日	17.3	338.13	0.25	108	6.83
3月24日	10.6	172.22	0.13	432	27.32
3月25日	11.7	40.45	0.04	108	6.83
3月26日	13.7	73.85	0.06	324	20.49
3月30日	12.5	259.72	0.19	396	25.05

由上表看出，建筑室外平均温度为 12.8℃，集热系统得热量为 152.28MJ，集热系统效率为 0.14，采暖耗热量为 259MJ，单位面积耗热量为 16.39 W/m²。

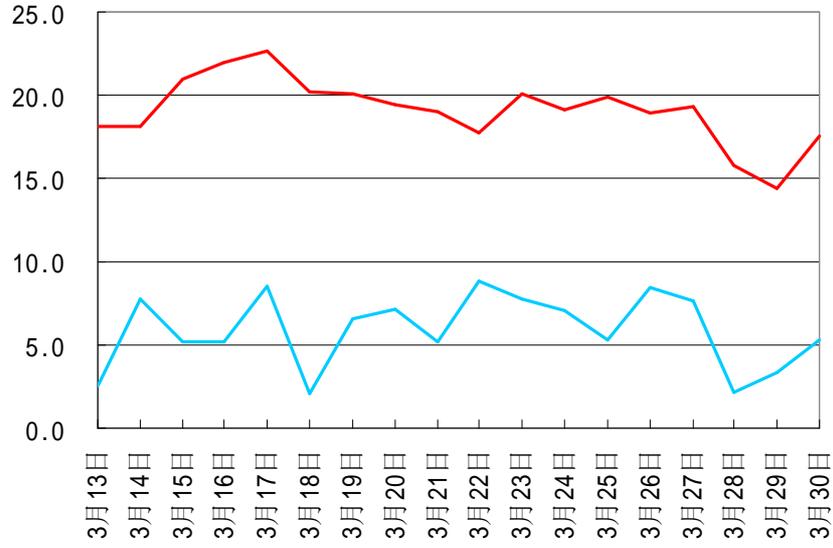
3.2 太阳能保证率

测试期间，由于无外界辅助热源投入采暖系统，所以太阳能保证率为 1。

3.3 测试期间的室内外温度曲线



测试期间室内、室外白天（8:00—20:00）温度曲线图



测试期间室内、室外夜间（20:00—次日 8:00）温度曲线图

4.1.3 云南某工程

1 基本情况

1.1 工程简介

本示范项目位于云南省曲靖市，为别墅花园洋房住宅，小区总建筑面积 23.3 万平方米，每户太阳能热水系统独立运行，现有 700 户住户，共有 700 套太阳能热水系统，可 24 小时为住户提供生活热水。太阳能热水系统为间接式、强制循环、带辅助热源系统，系统采用平板型太阳能集热器，集热器安装倾角为 30°，集热器连接方式采用同程串联连接，传热工质为 30% 的乙二醇，系统收集的热量进入贮热水箱，再由贮热水箱供给用户，每个贮热水箱内安装 1500W 电加热器，保障了日照不足及阴雨天时热水供应。系统设计单位与安装单位为曲靖市官房房地产开发有限公司。

1.2 测试期间室外气象条件

测试期间室外空气平均环境温度为 11.6℃，平均风速为 0.72m/s，平均日太阳辐照量为 16.3MJ/m²。

1.3 测试对象

别墅花园洋房共 700 户住户，每个住户设计 1 个系统，共 700 个系统。系统主要有以下几部分组成：

集热器总面积为 6m²、350L 贮热水箱、自动控制系统、1500W 电加热器。

1.4、检测项目

- 1) 集热系统得热量；
- 2) 系统常规热源耗能量；
- 3) 贮热水箱热损系数；
- 4) 集热系统效率；
- 5) 太阳能保证率。

2 检测依据

- 2.1 设计图纸与设计文件；
- 2.2 相关设备技术资料等文件。

3 检测结果

3.1 检测期间的试验条件和集热系统得热量、集热系统效率、太阳能保证率、系统常规能源耗能量及系统的实际生活热水用水量见下表：

检测日期	环境温度 ℃	太阳辐照量 MJ/m ²	集热系统 得热量 MJ	系统常规 热源耗能 量 MJ	集热系 统效率	太阳能保 证率	系统的实际 生活热水用 水量 m ³
3.6	10.8	14.8	36.1	8.5	0.45	0.81	0.27
3.7	10.5	16.8	42.1	9.3	0.46	0.82	0.41
3.8	12.4	18.0	45.2	6.2	0.46	0.88	0.74
3.11	12.9	15.7	39.1	7.4	0.46	0.84	0.64

3.2 贮热水箱热损系数检验的数据见下表

降温时间	s	28800
环境空气平均温度	℃	8.5
环境空气平均风速	m/s	0.49
热水初温	℃	50.3
热水终温	℃	47.5
热损系数	W/K	3.5



记录太阳辐照量的总辐射表

4.2 真空管型太阳集热器工程应用效果分析

4.2.1 云南某工程

1 基本情况

1.1 工程简介

本示范项目位于云南省曲靖市，为小高层住宅，总建筑面积 2.18 万平方米，太阳能热水系统集热器总采光面积 314.64m²，为 120 户住户提供生活热水。太阳能热水系统为自然循环系统，采用全玻璃真空管太阳能集热器，集热器安装倾角为 30°，集热器连接方式采用并联连接；系统设计的供热水温度为 50℃，每天提供热水量为每户 150L。系统收集的热量进入贮热水箱，再由贮热水箱供给用户，每户室内安装 1500W 电热水器，日照不足及阴雨天时保障热水供应。

1.2 测试期间室外气象条件

测试期间室外空气平均环境温度为 10.7℃，平均风速为 1.25m/s，平均日太阳辐照量为 14.39MJ/m²。

1.3 测试对象

本住宅楼共有 15 层，分 A、B 两个单元。每个单元设置 3 个系统，系统的供热水范围分别为 1~7 层，8~12 层和 13~15 层；楼内共 6 个系统，其中 1~7 层共 28 户，贮热水箱容积为 4m³；8~12 层共 20 户，贮热水箱容积为 3m³；13~15 层共 12 户，贮热水箱容积为 2m³。

1.4、检测项目

- 1) 集热系统得热量；
- 2) 系统常规热源耗能量；
- 3) 贮热水箱热损系数；
- 4) 集热系统效率；
- 5) 太阳能保证率。

2 检测依据

2.1 设计图纸与设计文件；

2.2 相关设备技术资料等文件。

3 检测结果

3.1 检测期间的试验条件和集热系统得热量、集热系统效率、太阳能保证率、系统常规热源耗能量及系统的实际生活热水用水量见下表：

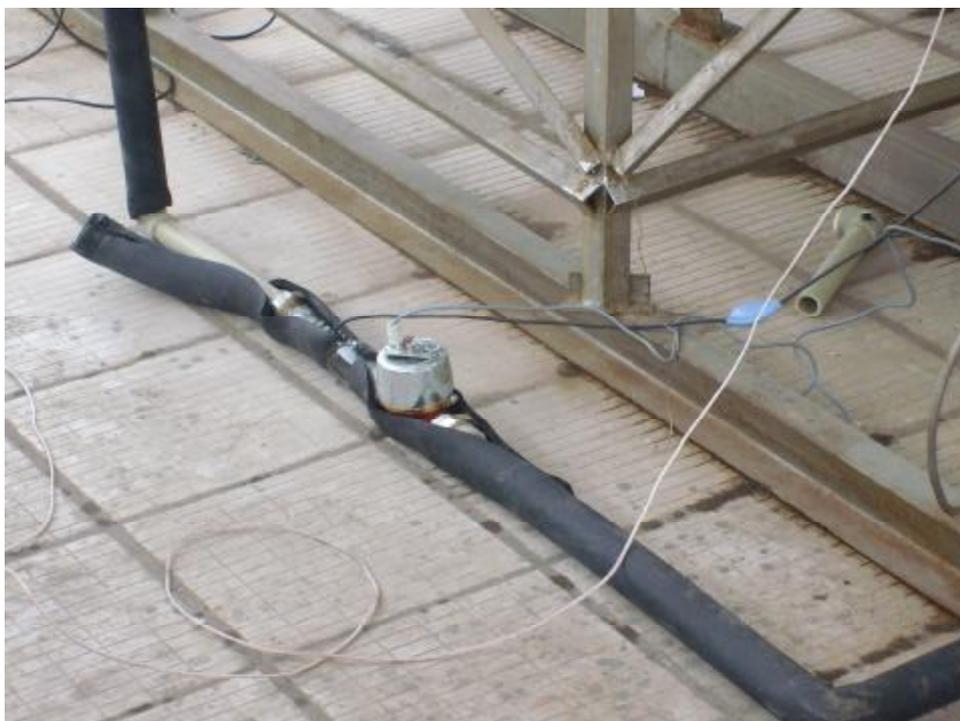
检测日期	环境温度 ℃	太阳辐照量 MJ/m ²	集热系统 得热量 MJ	系统常规 热源耗能 量 MJ	集热系 统效率	太阳能保 证率	系统的实际 生活热水用 水量 m ³
2008.3.4	10.9	11.1	217.1	121.4	0.49	0.64	1.17
2008.3.5	11.0	13.6	254.6	134.8	0.47	0.65	1.63
2008.3.7	9.9	15.8	316.1	73.7	0.51	0.81	1.54
2008.3.8	11.9	17.0	330.4	77.0	0.49	0.81	1.46

3.2 贮热水箱热损系数检验的数据见下表

降温时间	s	28800
环境空气平均温度	℃	8.3
环境空气平均风速	m/s	1.14
热水初温	℃	50.1
热水终温	℃	47.9
热损系数	W/K	21.0



用于记录太阳辐照量的总辐射表



记录生活热水耗热量的热量表



太阳辐照量、贮热水箱温度数据采集仪器

4.2.2 唐山某工程

1 基本情况

1.1 工程简介

本示范项目位于唐山市，唐山市区的西北部，一期由 26 栋住宅组成，26 栋住宅楼有 22 栋属板式多层或小高层建筑，7 至 14 层不等，位于小区南部，4 栋 17 层的塔式住宅楼沿街而建把守着小区西北部，总建筑面积 36 万平方米。

本小区太阳能热水系统为强制循环系统，采用玻璃-金属结构真空管型太阳能集热器，太阳能热水系统集热器总面积为 4868m^2 ，为 1082 户住户提供生活热水。集热器安装在屋顶的坡屋面上，集热器连接方式采用并联连接；系统设计的供水温度为 60°C ，24 小时为用户提供热水。集热系统收集的热量进入蓄热水箱，蓄热水箱通过交换把热量传递到供热水箱，供热水箱的热水通过供水泵供给用户，在每个供热水箱安装 4 组 15kW 电加热，日照不足及阴雨天时保障热水供应。

1.2 测试期间室外气象条件

测试期间室外平均环境空气温度为 24.1°C ，平均风速为 1.01m/s ，平均日太阳辐照量为 13.83MJ/m^2 。

1.3 测试对象

测试选择 119# 楼东面太阳能热水系统进行测试。119# 楼共 11 层，22 户，本系统集热器采光面积为 43.0m^2 ，集热器安装倾角为 40° ，配置 2.1m^3 蓄热水箱和 2.1m^3 供热水箱各一个，蓄热水箱和供热水箱的保温材料为 100mm 厚的聚氨酯。

1.4 检测项目

- 1) 集热系统得热量；
- 2) 系统常规热源耗能量；
- 3) 贮热水箱热损系数；
- 4) 集热系统效率；
- 5) 太阳能保证率。

2 检测依据

- 2.1 设计图纸与设计文件；
- 2.2 相关设备技术资料等文件。

3 检测结果

3.1 检测期间的试验条件和集热系统得热量、集热系统效率、太阳能保证率、系统常规热源耗能量及系统的实际生活热水用水量见下表：

检测日期	环境温度 ℃	太阳辐照量 MJ/m ²	集热系统 得热量 MJ	系统常规 热源耗能 量 MJ	集热系 统效率	太阳能保 证率	系统的实际 生活热水用 水量 m ³
2008.5.16	23.6	15.68	301.8	156.8	0.45	0.66	0.43
2008.5.18	24.8	8.56	168.9	146.1	0.46	0.54	0.36
2008.5.19	23.9	12.48	265.3	176.1	0.50	0.60	0.39
2008.5.20	24.1	18.61	369.1	168.1	0.46	0.69	0.48

3.2 贮热水箱热损系数检验的数据见下表

降温时间	s	28800
环境空气平均温度	℃	20.1
环境空气平均风速	m/s	1.43
热水初温	℃	57.3
热水终温	℃	52.4
热损系数	W/K	43.1



屋顶太阳能集热器布置图



记录太阳辐照量的总辐射表



用于记录生活热水耗热量的热量表

第五章 太阳能集热器生产工艺流程和应用前景分析

5.1 平板型太阳能集热器生产工艺流程和应用前景分析

5.1.1 平板型太阳能集热器构造与组成

平板型太阳能集热器是太阳能集热器中的一种类型。平板型集热器的工作过程是阳光透过玻璃盖板照射在表面有涂层的吸热板上，吸热板吸收太阳能辐射能量后温度升高。

平板集热器目前在国内制造大多采用手工制作的方法，板芯的材料为全紫铜，由于受焊接设备和原材料规格的控制，板芯的型式为条带式，支铜管的规格为直径 10-12，壁厚 0.5-0.6mm，集管的直径大多为 22mm，条带的厚度在 0.12-0.14mm。

集热器规格大多为 2000×1000×90mm，集热器用铜量在 6-8 kg 之间。

平板型太阳能集热器的构造由吸热板芯、壳体、透明盖板、保温材料及有关零部件组成。对各个部件的要求如下：

① 吸热板

平板型太阳能集热器一般采用铜铝复合和全铜的材质，目前广东地区大部分采用铜铝复合太阳能集热板。这种集热板是由铜铝复合吸热翼片与铜质集热管连接而成的，这种吸热翼片的特点在于由两面铝板中间夹着铜管，通过压辗复合工艺，使铝铜和铝铝之间紧密结合（基本上达到冶金结合），全铜板芯集热器是近几年发展起来的，目前国内 80% 以上的集热器板芯采用全铜材质。

② 盖板

阳光与吸热板之间的辐射传热板上表面需有透明盖板。一般采用高强耐热透明低铁钢化玻璃和普通平板玻璃。盖板层数由使用地区的气象条件和工作温度而定，但从防尘、防水、透光的角度考虑，一般仍需要用单层盖板。盖板与吸热板之间的距离一般为 2.5 厘米左右。

③ 保温层

常用的保温材料一般采用：岩棉、矿棉、聚苯乙烯、聚氨脂等，底部保温层一般 3—5 厘米厚，四周保温层的厚度为底部的一半。

④ 涂层

在吸热面板上涂有选择性或非选择性涂层，这种涂层既可使吸热面板吸收更多的太阳能辐射，又可减少吸热板向环境的辐射散热损失。

涂层在吸热方面特别重要，国内制造的集热器目前一般采用黑铬涂层或TXT涂层，国外尤其欧洲主要采用磁控溅射或电子蒸发束技术在铜带的表面溅射或冷凝沉积含硅或其他成分的涂层。

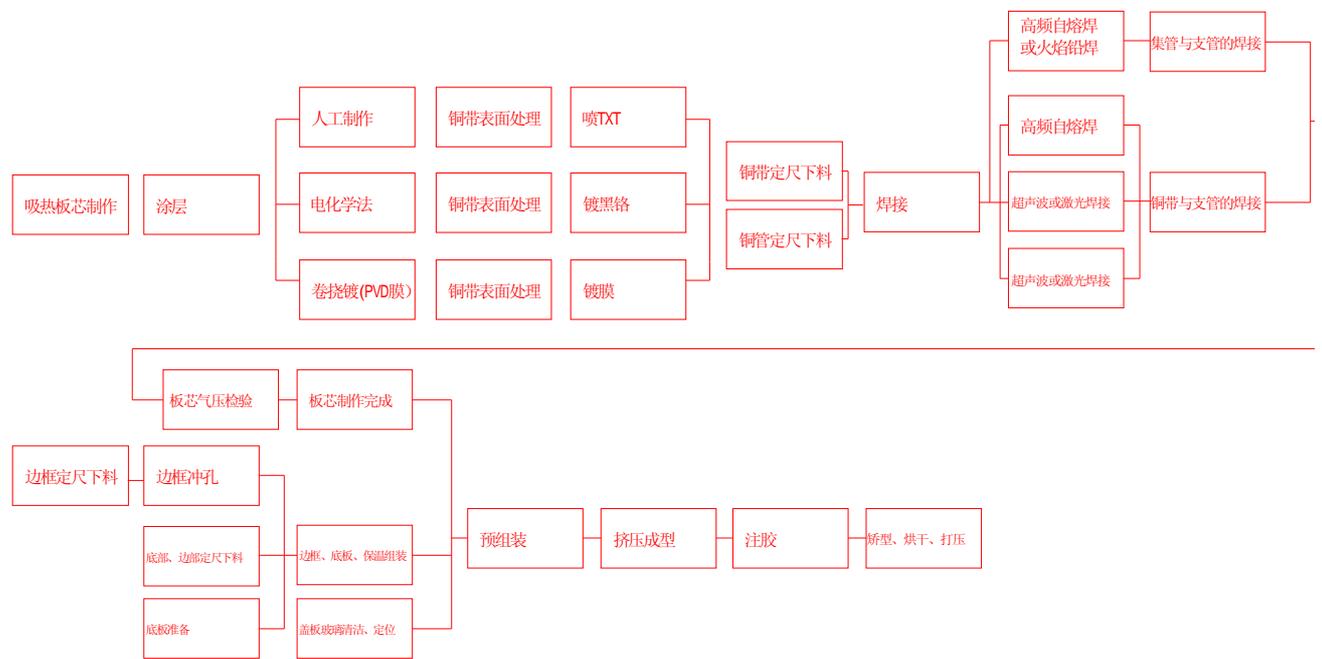
⑤ 壳体

一般采用铝合金、钢材等，组成一个整体并保持有一定的刚度和强度便于安装。

⑥ 支架

一般采用热镀锌、铝合金、不锈钢等材质，加工成品，焊接于钢结构棚架上。

5.1.2 平板型太阳能集热器集热器生产工艺流程



5.1.3 平板型太阳能集热器生应用前景分析

平板太阳能集热器发展至今天，技术上已日趋成熟。世界各国都力图将太阳能与建筑密切结合，录求外形美观、布局合理、管理规范太阳能与建筑一体化的设计。如：世界上使用太阳能热水器最普及的国家——以色列，平板太阳能与建筑一体完美结合的设计就占 90%以上的市场份额。在我国随着国家在政策资金

等方面的不断倾斜,尤其是将出台在 12 层以下的新建建筑强制安装太阳能系统,使太阳能的应用前景更加明朗。

在建设部 2003 年南京会议第一次提出太阳能与建筑一体化的概念到今天,其内涵也在不断的提升。从最初单纯追求外观效果到今天具有真正意义上一体化含义,平板太阳能市场的份额在不断扩大。

平板型太阳能集热器适用场所:

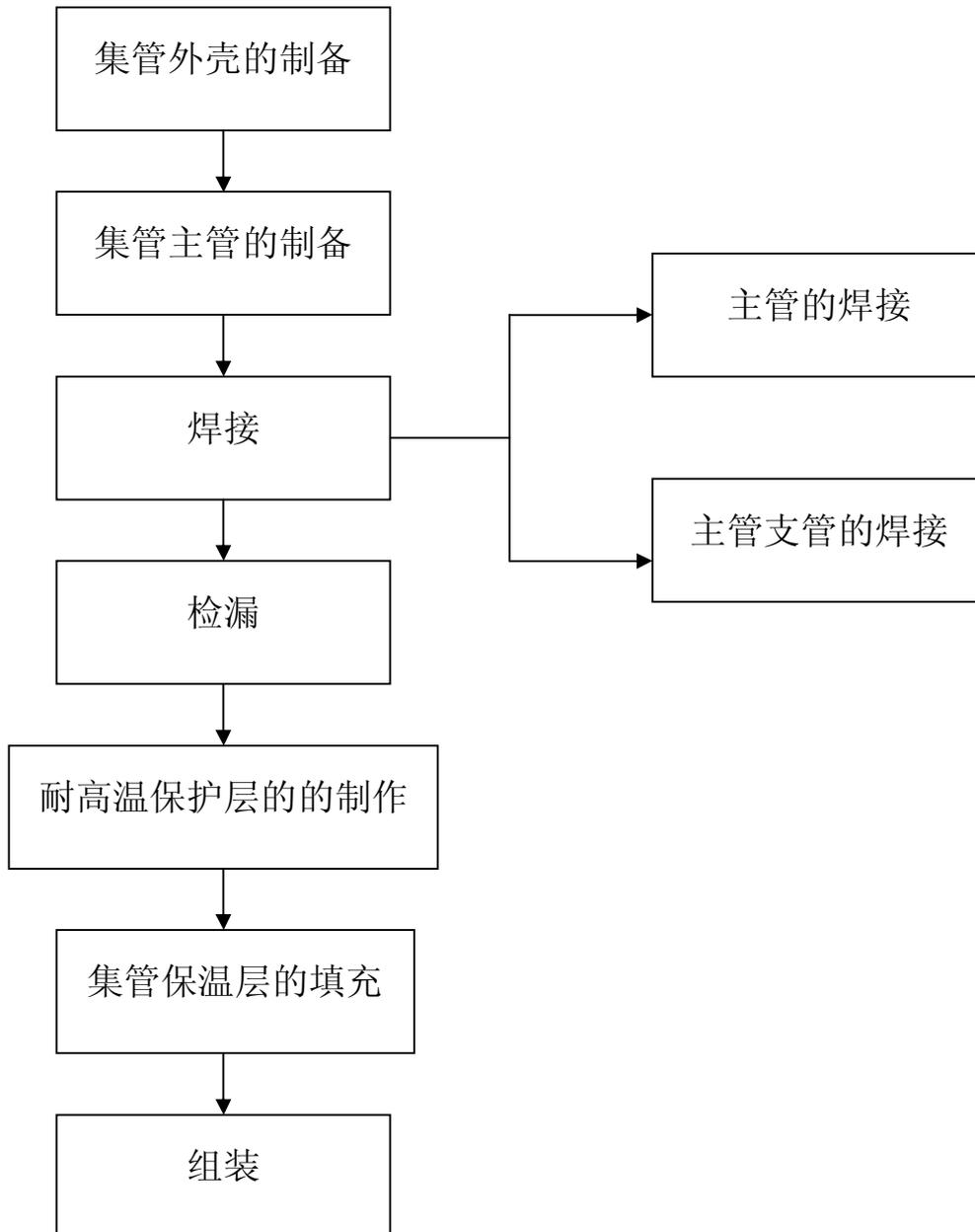
- * 热效率高,维修极少,主要用于南方地区。
- * 工厂、学校、酒店、医院、机关、部队等各类企事业单位热水。
- * 别墅沐浴及生活用热水。
- * 工业生产用热水及供暖场所。

5.2 承压真空管型太阳能集热器生产工艺流程和应用前景分析

承压型真空管型太阳能集热器基本是采用全玻璃真空太阳能集热管与铜制传热元件结合。

5.2.1 承压真空管型太阳能集热器生产工艺流程

U型管集热器的生产工艺流程：



5.2.2 承压真空管型太阳能集热器生应用前景分析

目前，世界能源供给主要是基于非可再生资源的石油、煤炭、天然气和铀，这几种来源覆盖了几乎 82% 的全球一次能源的需求。其余的 18% 大约可以分为

2/3 的生物质能和 1/3 的水力发电。很明显，发展的不是很好但有非常丰富资源的就是太阳能，而且在人们越来越关注气候变暖和能源安全的时代，它促使社会有意识地投资，从而使得太阳能成为未来生活用水和供暖的主要能源。自 20 世纪 80 年代早期以来，不断增长的太阳能集热器应用显示出太阳能热水系统已经发展成为一项成熟可靠的技术。大量的各式各样太阳能热水系统已经发展起来，并根据全球不同的需求和环境做出改进，简单的热虹吸系统主要用在寒冷季节的低纬度地区，由于较低的室外温度和冬季的霜冻等原因，更先进的用泵系统主要应用在高纬度地区。具有季节性能源储备功能的集热器装置不能得到广泛应用。随着人们生活水平的提高和我们环保意识的提高，再加上政府出台的一系列政策，太阳能行业必将有很大的发展，由此，也更加促进了太阳能产品的不断成熟。而现在的承压式集热器系统与非承压集热器系统相比具有许多优点：

1、太阳能热水系统与住宅建筑一体化是必将未来的发展趋势，与建筑结合，显然原始的靠非承压式系统，显然是不能满足要求的，承压式集热器常不会出现炸管，结垢，一根管子出现漏水影响整个系统的运行等问题。减少了系统在维修中的许多麻烦。

2、随着人们生活水平的不断提高，对产品的性能、功能、外观要求也越来越高，储水箱与集热器的分离，在外观上只能看到集热器，而将庞大的储水箱“隐藏”起来，得到越来越多用户的喜爱。

3、传统的太阳能热水产品的使用过程中，很多人都发现，太阳能热水系统“不好用”——出水水压小，流量不大，忽冷忽热，很难调到合适的水温，其实这就是开式系统(非承压系统)大的弊病——依靠重力出水高度差不足时压力小，更主要的原因是在各用水点的热热水与冷水压力不平衡。即使在储水箱出水处增设加压泵加压，也不能彻底解决冷热水的压力不平衡问题，特别是使用同一系统的楼层而且市政水压不稳定时，这一问题就会变的更加明显。

4、当人们的生活条件提高后，人们对水的水质要求也会提高。开式系统(非承压式)的热水在储水箱内不可避免地存在二次污染问题，特别是当长期使用不完全时，这中二次污染可能会对人体产生更大的影响。

当然，分体承压式系统也存在一些“缺点”。如：集热器与储水箱分离，因此需要一定数量的管道来连接，增加了费用，管道敷设也可能对室内安装维

修造成一定的影响。 伴随着人们对太阳能热水产品的了解以及生活质量的提高，分体承压式太阳能热水系统将以上众多优点成为太阳能热水行业的主流，对承压式真空管太阳能集热器的需求也不断加大。

本报告版权归国际铜业协会、IMSIA国际金属太阳能产业联盟所有。

联系方式：

电话：+86 (10) 68042450

邮箱：imsia2010@126.com

地址：北京市海淀区中关村南大街12号天作国际大厦A座2605-2608室

邮编：100081