

GRLM

国家太阳能光热产业技术创新战略联盟标准

T/GRLM 03-2015

非跟踪型太阳能中温集热器 性能测试方法

Test methods for the performance of medium-temperature
non-tracking solar collectors

2015-01-12 发布

2015-02-01 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	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 符号与单位	1
5 技术要求	2
6 试验顺序	2
7 试验方法	3
8 热性能检测报告	7
附录 A（规范性附录）符号和单位	8
附录 B（规范性附录）水的热物性参数	9
附录 C（规范性附录）中温集热器热性能检测报告格式	11

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由国家太阳能光热产业技术创新战略联盟提出。

本标准由国家太阳能光热产业技术创新战略联盟标准化技术专家组归口。

本标准起草单位：山东力诺新材料有限公司、上海交通大学、北京清华阳光能源开发有限责任公司、山东力诺瑞特新能源有限公司、中国科学院电工研究所、中国标准化研究院、东莞市康达机电工程有限公司、太阳雨集团有限公司、广东五星太阳能股份有限公司、湖北贵族真空科技股份有限公司、皇明太阳能集团有限公司、江苏省产品质量监督检验研究院、中国科学院长春光学精密机械与物理研究所、南京工业大学、云南师范大学。

本标准主要起草人：李业博、王相民、沈永春、马光柏、代彦军、原郭丰、王庚、周小雯、周福云、李开春、袁家普、陈宝容、王杰、王凤玲、魏秀东、凌祥、高文峰。

本标准为首次公布。

非跟踪型太阳能中温集热器性能测试方法

1 范围

本标准规定了非跟踪型太阳能中温集热器（100-150℃）的技术要求、试验顺序和试验方法。

本标准适用于利用太阳辐射加热的非跟踪型太阳能中温集热器，包含以下几种形式：传热工质为液体的非聚光型全玻璃真空管型太阳能集热器、玻璃-金属结构真空管型太阳能集热器和热管式真空管型太阳能集热器（以下简称中温集热器）。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。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 3100 国际单位制及其应用

GB/T 4271-2007 太阳能集热器热性能试验方法

GB/T 12936 太阳能热利用术语

GB/T 17581 真空管型太阳能集热器

JJF 1032 光学辐射计量名词术语及定义

ISO 9488:1999 太阳能术语

3 术语和定义

GB 3100、GB/T 4271-2007、GB/T 12936、GB/T 17581、JJG 1032 和 ISO 9488:1999 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

非跟踪型太阳能中温集热器 Medium-temperature non-tracking solar collectors

能够在100-150℃以内长期稳定工作的无需跟踪太阳的太阳能集热器。

3.2

工作温度 Operating temperature

可以稳定工作的温度范围。

4 符号与单位

本标准使用的符号及单位见附录 A。

5 技术要求

中温集热器应符合 GB/T 17581 的要求外，还应符合表 1 的技术要求。

表 1 中温集热器技术要求

序号	项目	技术要求
1	脉冲压力	中温集热器应能承受 0.10-0.75MPa 的脉冲压力 10 万次，无明显变形损坏及泄露。
2	抗高温	在集热器表面总辐射度 $G > 850 \text{ W/m}^2$ 、环境温度 20-40 °C、周围空气速度 $< 4 \text{ m/s}$ 的稳态条件下，累计运行不低于 50 小时中温集热器不应有损坏。
3	热性能	<p>a) 有盖板的中温集热器在归一化温差 $T_m^* = 0.15$ 时，瞬时效率 $\eta_{0.15\theta}$ 应不低于 0.38； 无盖板，有镜反射器的中温集热器在归一化温差 $T_m^* = 0.15$ 时，瞬时效率 $\eta_{0.15\theta}$ 应不低于 0.42； 无盖板，无镜反射板或有漫反射板的中温集热器在归一化温差 $T_m^* = 0.12$ 时，瞬时效率 $\eta_{0.12\theta}$ 应不低于 0.25； 其中 $\eta_{0.12\theta}$、$\eta_{0.15\theta}$ 指中温集热器基于采光面积，归一化温差分别在 0.12 和 0.15 时的瞬时效率；</p> <p>b) 应作出 $(t_c - t_a)$ 随时间变化的曲线 (x 轴)，并给出中温集热器的时间常数 τ_c。</p> <p>c) 应给出中温集热器南北向排列与东西向排列时的入射角修正系数 $K_{\theta, N-S}$ 与 $K_{\theta, W-E}$ 随入射角 θ 的变化曲线和 $\theta = 50^\circ$ 时的 $K_{\theta, N-S}$ 与 $K_{\theta, W-E}$ 值，热管式真空管型太阳能集热器只需给出真空太阳集热管南北向排列时的入射角修正系数 $K_{\theta, N-S}$ 随入射角 θ 的变化曲线和 $\theta = 50^\circ$ 时的 $K_{\theta, N-S}$ 值。</p>

6 试验顺序

中温集热器性能检测应按表 2 中的顺序进行。

在各方均同意或实验室认为必要的情况下，可不按表 2 中的顺序进行试验。试验顺序的改变应在检测结果中说明。

表 2 中温集热器试验项目试验顺序

试验顺序	试验项目	试验方法
1	脉冲压力	7.1
2	抗高温	7.2
3	热性能	7.3

7 试验方法

7.1 脉冲压力

7.1.1 试验装置和仪器

脉冲压力试验机。压力测量准确度应为 $\pm 0.01\text{MPa}$ ，计时器宜采用数字计时器，其精度在 1 秒内。

7.1.2 试验条件

在常温下进行。

7.1.3 试验方法

脉冲压力的实验方法见表 3。

表 3 脉冲压力实验方法

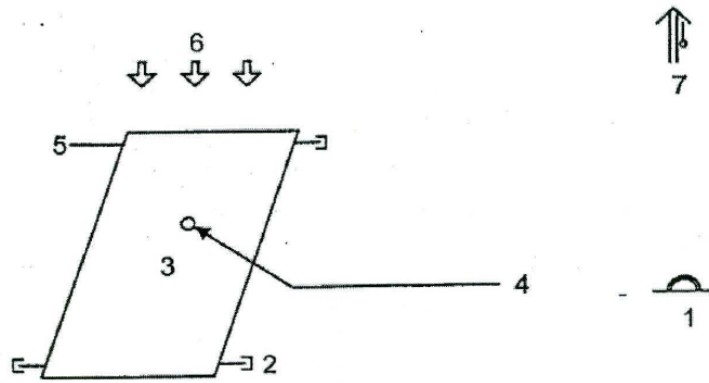
项目	要求	试验介质	承受脉冲压力试验次数 t
脉冲频率	25-60 次/分钟	水	$t > 10$ 万次
脉冲压力	0.10-0.75MPa		

注：每加压 10000 次结束时，将压力至少维持在最大工作压力 10 分钟，目测流道无明显变形损坏及泄露，再进行下面的循环试验。

7.2 抗高温

7.2.1 试验设备和步骤

试验应在室外或在太阳辐射模拟器中进行。试验连接见图 1。



1—总日射表；2—带密封螺帽的管路；3—中温集热器；4—联集箱内的温度传感器；
5—左边开路的液体管路；6—自然或者模拟的太阳辐照；7—环境温度传感器。

图 1 抗高温测试图

用于抗高温试验的太阳辐射模拟器的性能和特征应和用于液体传热中温集热器效率试验的模拟器相同。

中温集热器必须在室外或太阳辐射模拟器中安装，且不允许注入流体。封闭其中的一个流体管，以免因空气自然循环而引发的冷却，但应保持其它管道的畅通，以便吸热体内空气自由膨胀。

试验过程中，可选择在联集箱内安装一个温度传感器，以监控其温度。此安装位置应为联集箱中段，为了保证测量数据准确，一定要保证安装的牢固性。同时，应避免传感器受太阳辐射。

注：某些情况下，不易在联集箱上安装热电偶，此时可在吸热体内加注特殊液体，密封并测量其内部压力，通过该种液体的标准汽压 / 温度关系确定其温度。

达到稳态条件后，累计运行时间不小于 50 小时，随后应对中温集热器进行老化、收缩、漏气和变形检验，以检测集热器的损坏情况。

7.2.2 试验条件

试验条件应符合表 4 的要求。表中所给出的参考条件适用于所有气候等级。

表 4 抗高温试验气候参考条件

气候参数	可满足所有气候等级值
中温集热器表面总辐照度 G	$> 850 \text{ W/m}^2$
周围空气温度 t_a	20-40 °C
周围空气速度	$< 4 \text{ m/s}$

7.2.3 结果记录

检测结果应随中温集热器表面的平均太阳辐照度(自然或模拟的), 周围空气温度和速度, 联集箱温

度(若采用特殊液体测其压力的方法,应包括联集箱内特殊液体的压力)一起记入检测报告。

7.3 热性能

7.3.1 中温集热器的安装及场所

中温集热器的安装及场所应符合 GB/T 4271-2007 第 5 章的要求。

7.3.2 仪器与测量

仪器与测量应符合 GB/T 4271-2007 第 6 章的要求。

7.3.3 试验台架

7.3.3.1 总体结构

中温集热器试验台架闭式结构示意图见图 2。

7.3.3.2 传热工质

中温集热器试验过程中使用的传热工质可以是水或集热器生产厂家实际使用的液体工质,但厂家需确认所使用液体工质的相关物性参数。

在试验期间传热工质工作的温度范围内,传热工质的比热容和密度的变化应在 $\pm 1\%$ 以内。附录 B 给出了水的比热容和密度值。

在确定中温集热器的热效率曲线、时间常数和入射角修正系数的试验过程中,传热工质的质量流量应保持一致。

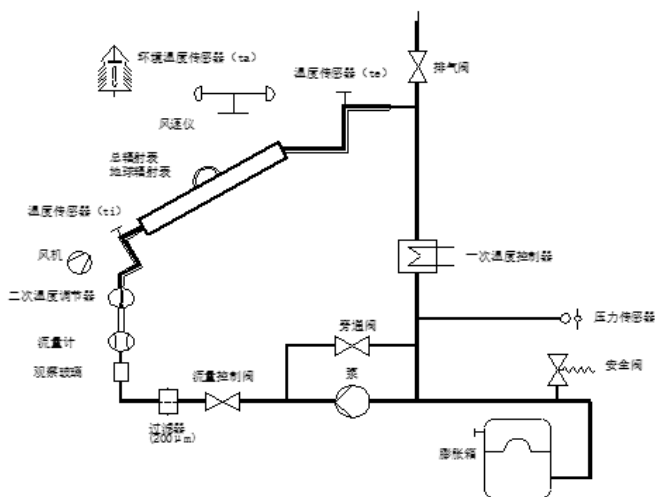


图 2 闭式试验系统

7.3.3.3 管道布置与组装

在中温集热器回路中使用的管道应耐腐蚀,并能在大于 150°C 下工作,推荐使用不锈钢或者紫铜材质管道。若使用非水工质,应确认该工质是否与系统材料兼容。

从工质温度调节器出口到中温集热器进口之间的管道应保持最短，以减少环境对工质进口温度的影响。

温度测量点和中温集热器进出口之间的管道应采用隔热和防晒反射涂层进行保护，使管道内的温降不超过 0.1°C 。混流器应安装在靠近温度传感器的液流上方（见图 3）。

可以在工质回路管道上安装一小段透明玻璃管，用来观察工质中的气泡和杂质。透明管应安装在靠近中温集热器的进口处，但不应影响工质进口处的温度控制或温度测量。

在中温集热器的出口及其他容易聚积空气的地方应安装空气分离器或排气装置。

在流量计或泵的入口前安装过滤器。

单位为毫米

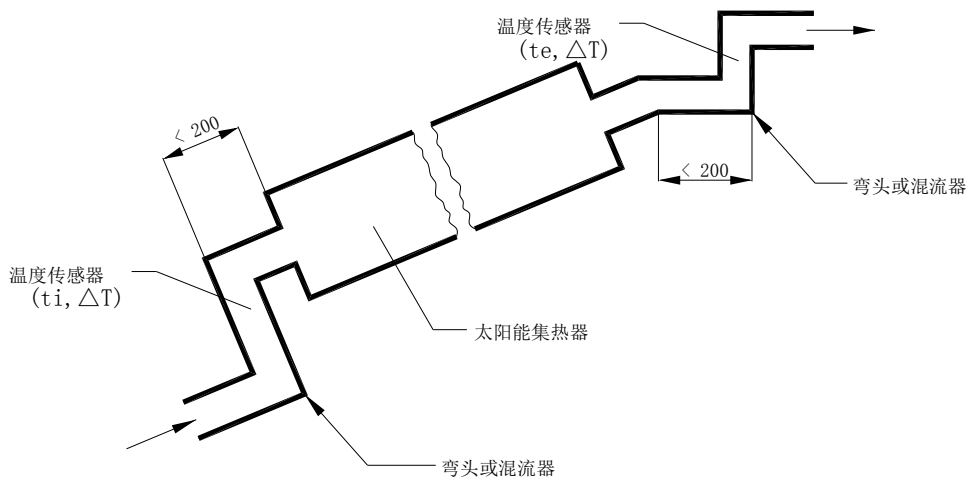


图 3 传热工质进口和出口温度传感器推荐安装位置示意图

7.3.3.4 泵与流量控制装置

安装在中温集热器试验回路中的泵应不影响集热器进口温度控制或温度测量。

宜装有旁通管路和手动调节阀，用于调节流量。也可使用流量控制装置来稳定流量。

试验期间，在任何进口温度下，泵及流量控制装置应能维持稳定的流量，流量的变化范围应稳定在 $\pm 1\%$ 以内。

7.3.3.5 传热工质温度调节

试验回路应在中温集热器工作的温度范围内，具有保持中温集热器进口温度恒定的能力，同时应

避免中温集热器进口温度的漂移。

试验回路应具有两级工质进口温度控制的功能，如图 2 所示。一次温度控制器应装在流量计和流量控制装置的上游处。二次温度调节器用于控制进入中温集热器的工质温度，调节工质进口温度至设定值。二次温度调节器的温度调节范围应不超过 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

7.3.4 试验方法

依据 GB/T 4271-2007 中 第 8、10、11 章进行热性能试验。

应在中温集热器工作温度范围内至少取 5 个间隔均匀的工质进口温度，5 个温度点中应包括中温集热器标称的最高温度点。为了获得 η_0 ，其中一个进口温度应使中温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。应根据中温集热器的最高工作温度确定最高工质进口温度。

对每个工质进口温度至少取 5 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 3 分钟。

8 热性能检测报告

中温集热器热性能检测报告格式见附录 C。

附 录 A
(规范性附录)
符号和单位

符号和单位见表 A.1 和 A.2

表 A.1 符号和单位

符 号	意 义	单 位
a_1	以 T_m^* 为参考的系数	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
a_2	以 T_m^* 为参考的系数	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
A	太阳能集热器的面积	m^2
c_f	传热工质比热容	$J/(kg \cdot ^\circ C)$
G	总太阳辐照度	W/m^2
\dot{m}	传热工质质量流量	kg/s
t_a	环境或周围空气温度	$^\circ C$
t_e	太阳能集热器工质出口温度	$^\circ C$
t_i	太阳能集热器工质进口温度	$^\circ C$
t_m	太阳能集热器工质平均温度	$^\circ C$
K	绝对温度	K
T_m^*	归一化温差 $= (t_m - t_a) / G$	$(m^2 \cdot ^\circ C) / W$
Δp	工质进、出口压降	Pa
ΔT	工质进、出口温差 $(t_e - t_i)$	$^\circ C$
θ	入射角	度 ($^\circ$)
η	以 T_m^* 为参考的太阳能集热器热效率	1
η_0	$T_m^* = 0$ 时的 η	1
ρ	传热工质的密度	kg/m^3
τ_c	太阳能集热器时间常数	s

表 A.2 集热器面积 A 和对应效率 η 的下脚标

符 号	意 义
a	以采光面积为参考
G	以集热器总面积为参考

附录 B
(规范性附录)
水的热物性参数

表 B1 水的热物性参数

温度 ℃	密度 ρ 10^3 kg/m^3	比热容 c_f kJ/kg·K	运动粘度 ν $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	动力粘度 μ $10^{-6} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$
5	0.9999	4.204	1.5010	1501
10	0.9997	4.193	1.3000	1300
15	0.9990	4.186	1.1370	1136
20	0.9982	4.183	1.0040	1002
25	0.9970	4.181	0.8927	890
30	0.9956	4.179	0.8005	797
35	0.9940	4.178	0.7223	718
40	0.9922	4.179	0.6561	651
45	0.9902	4.181	0.5999	594
50	0.9881	4.182	0.5505	544
55	0.9852	4.183	0.5085	501
60	0.9833	4.185	0.4709	463
65	0.9804	4.188	0.4386	430
70	0.9775	4.191	0.4092	400
75	0.9747	4.194	0.3837	374
80	0.9718	4.198	0.3612	351
85	0.9690	4.203	0.3406	330
90	0.9653	4.208	0.3222	311
95	0.9615	4.213	0.3058	294
100	0.9584	4.220	0.2950	282
105	0.9547	4.227	0.2835	270
110	0.9510	4.233	0.2720	259
115	0.9471	4.242	0.2620	248
120	0.9431	4.250	0.2520	237
125	0.9390	4.258	0.2452	227
130	0.9348	4.266	0.2330	217
135	0.9305	4.277	0.2250	209
140	0.9261	4.287	0.2170	201
145	0.9216	4.300	0.2100	193
150	0.9170	4.313	0.2030	186
155	0.9120	4.330	0.1970	180
160	0.9070	4.346	0.1910	173

表 B2 水在不同温度下的饱和蒸气压表 (101-160℃)

温度 ℃	饱和蒸气压 10 ³ Pa	温度 ℃	饱和蒸气压 10 ³ Pa
101	104.99	131	278.20
102	108.77	132	286.57
103	112.66	133	295.15
104	116.67	134	303.93
105	120.79	135	312.93
106	125.03	136	322.14
107	129.39	137	331.57
108	133.88	138	341.22
109	138.50	139	351.09
110	143.24	140	361.19
111	148.12	141	371.53
112	153.13	142	382.11
113	158.29	143	392.92
114	163.58	144	403.98
115	169.02	145	415.29
116	174.61	146	426.85
117	180.34	147	438.67
118	186.23	148	450.75
119	192.28	149	463.10
120	198.48	150	475.72
121	204.85	151	488.61
122	211.38	152	501.78
123	218.09	153	515.23
124	224.96	154	528.96
125	232.01	155	542.99
126	239.24	156	557.32
127	246.66	157	571.94
128	254.25	158	586.87
129	262.04	159	602.11
130	270.02	160	617.66

附 录 C

(规范性附录)

中温集热器热性能检测报告格式

检测报告

(报告编号)

产品名称:

委托单位:

生产单位:

检测类别:

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 实验室

XXXX 年 XXX 月 XXX 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. 未经本中心书面批准不得复制本检测报告（完整复制除外）。
3. 检测报告无主检、审核、批准人签字无效。
4. 检测报告涂改无效。
5. 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。
6. 检测报告仅对委托检验样品负责。

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 实验室

检 测 报 告

报告编号：

共 页 第 页

样品编号：		检测地点：	
产品名称：		出厂编号：	
		生产日期：	
委托单位：		型号规格：	
		商 标：	
生产单位：		送样数量：	
		送样日期：	
检测类别：		检测时间：	
检测依据：			
委托单位地址：			
检测用 仪器、装置：			
检测项目：			
检 测 结 论	(以下空白)		
	检测单位公章 签发日期： 年 月 日		

批 准：

审 核：

主 检：

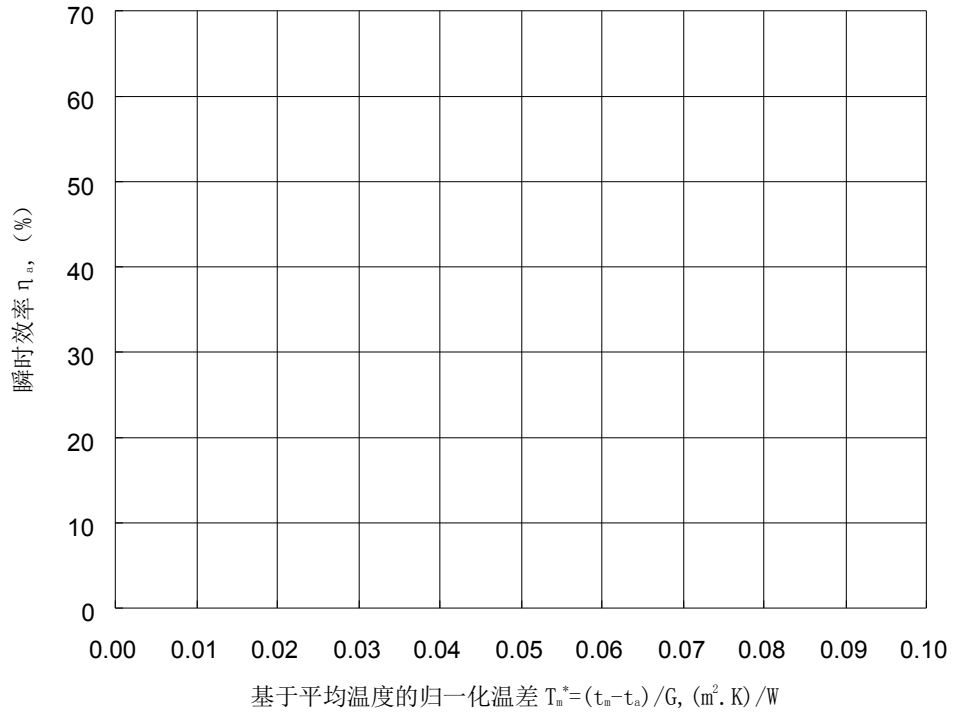
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 实验室 检 测 报 告

报告编号:

共 页 第 页

样品编号:		检测地点:	
检测项目:	瞬时效率曲线 (基于采光面积, 平均温度)		

基于采光面积 A_a 和集热器平均温度 t_m 的瞬时效率曲线 (线性拟合)



该集热器瞬时效率曲线方程为: $\eta_e = \eta_{0e} - a_1 T_m^* - a_2 G (T_m^*)^2$

式中: $T_m^* = (t_m - t_a) / G$;

T_m : 工质平均温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_a : 环境温度, $^{\circ}\text{C}$;

G : 集热器采光面上总日射辐照度, W/m^2 。

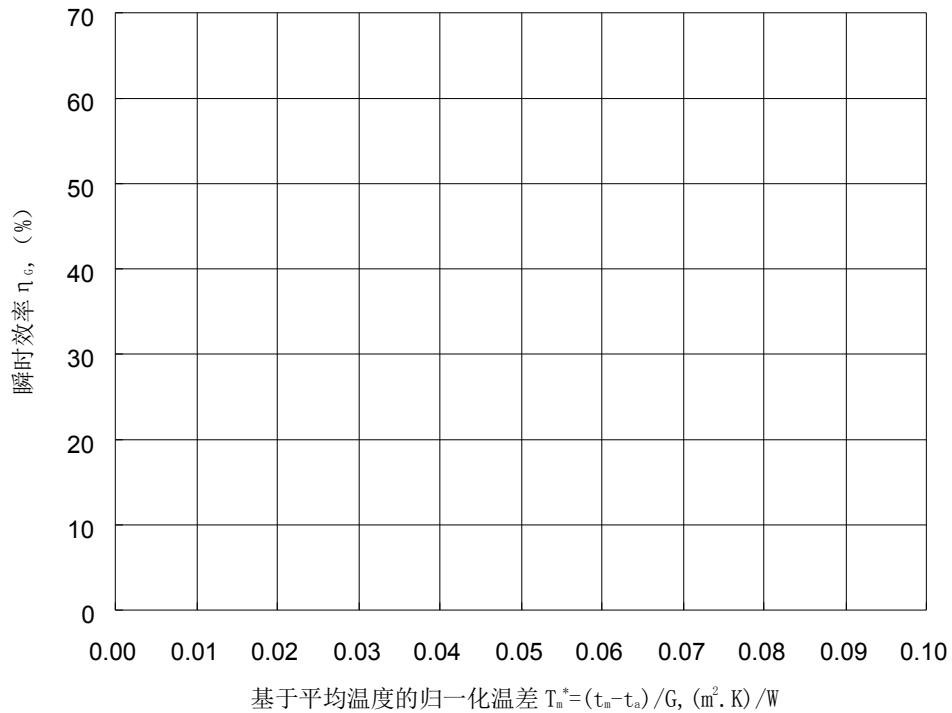
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 实验室 检 测 报 告

报告编号:

共 页 第 页

样品编号:		检测地点:	
检测项目:	瞬时效率曲线 (基于总面积, 平均温度)		

基于总面积 A_G 和集热器平均温度 t_m 的瞬时效率曲线 (线性拟合)



该集热器瞬时效率曲线方程为: $\eta_G = \eta_{0G} - a_1 T_m^* - a_2 G (T_m^*)^2$

式中: $T_m^* = (t_m - t_a) / G$;

T_m : 工质平均温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_a : 环境温度, $^{\circ}\text{C}$;

G : 集热器采光面上总日射辐照度, W/m^2 。

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 实验室

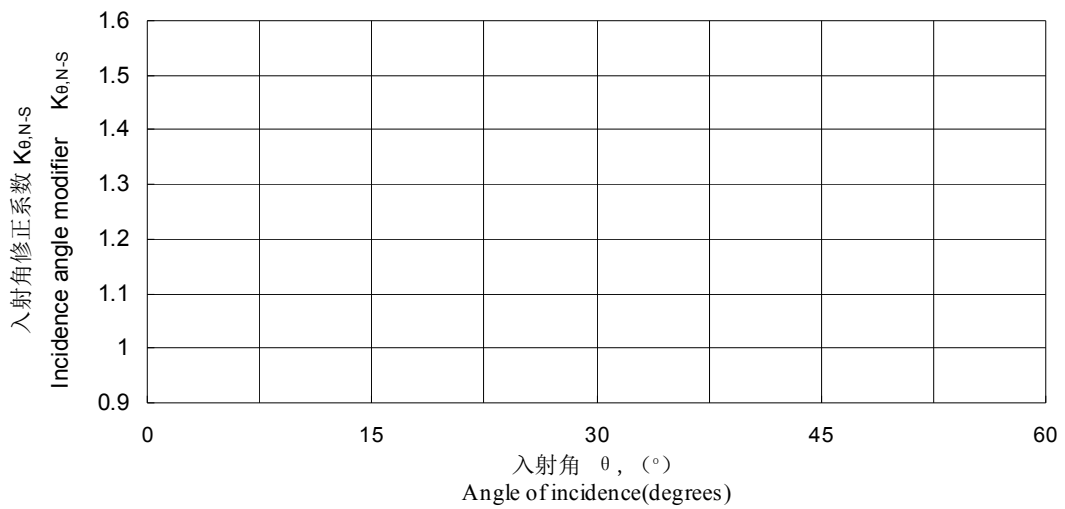
检测报告

报告编号:

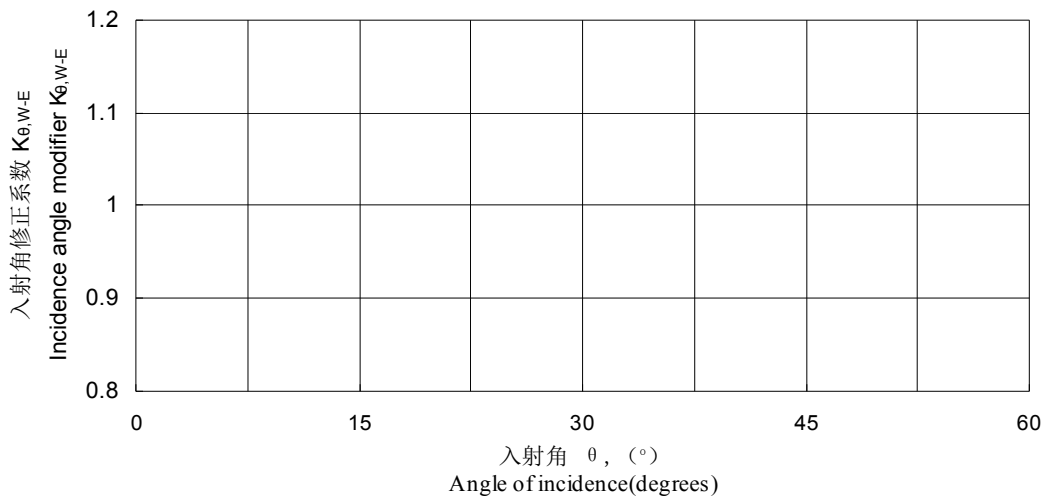
共 页 第 页

样品编号:		检测地点:			
检测项目:	入射角修正系数				
入射角 θ	0°	15°	30°	45°	60°
修正系数 $K_{\theta, N-S}$	1				
修正系数 $K_{\theta, W-E}$	1				

入射角修正系数曲线



南北向排列时入射角为 50 度时的入射角修正系数 $K_{50, N-S} =$



东西向排列时入射角为 50 度时的入射角修正系数 $K_{50, W-E} =$

检 测 报 告

报告编号:

共 页 第 页

样品编号:		检测地点:	
检测项目:	时间常数		
时间常数 τ_c		单位	
		s	
集热器出口温度 t_e 与环境温度 t_a 之差 ($t_e - t_a$) 与时间的关系曲线			
集热器出口温度与环境温度之差 ($t_e - t_a$), (K)			
	时间(Time), (s)		
两端压降 Δp 与质量流量 \dot{m} 的关系曲线			
两端压降 ΔP , (kPa)			
	工质质量流量 \dot{m} , (kg/s)		

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 实验室

检测 报 告

报告编号:

共 页 第 页

样品编号:		检测地点:	
检测项目:	脉冲压力试验		
脉冲频率 (次/分钟)	脉冲压力 (MPa)	试验次数	
测试数据			
试验次数 (万次)	试验数据	试验次数 (万次)	试验数据
1		8	
2		9	
3		10	
4		11	
5		12	
6		13	
7		14	
试 验 结 果			

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 实验室

检测 报 告

报告编号:

共 页 第 页

样品编号:		检测地点:	
检测项目:	抗高温试验		
试验方式:	<input type="checkbox"/> 室外测试 <input type="checkbox"/> 室内模拟		
测试条件:			
1	集热器安装倾角 (与水平面夹角)		°
2	测试期间平均辐照度		W/m ²
3	周围空气平均温度		°C
4	周围平均风速		m/s
5	集热器内吸热体平均温度		°C
6	测试持续时间		min
试 验 结 果	描述中温集热器的详细抗高温实验员损坏情况，尤其是老化、收缩、漏气和变形等较大缺陷。		

检 测 报 告

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 实验室

报告编号:

共 页 第 页

样品编号:

样 品 描 述

集热管根数: 根

排列方式:

采光面积: m^2

总面积: m^2

罩玻璃管: 外径: mm

结构尺寸: mm

反射器:

传热工质:

吸热体涂层: