JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX-XXXX

太阳能集热器的热性能测试计量规范

第一部分：单轴跟踪式抛物面聚光型太阳能集热器系统

Specification for Determining Thermal Performance of Parabolic Tracking Concentrating Solar Collectors with Single Axis

**（征求意见稿）**

201x-xx-xx 发布 201x-xx-xx 实施

**国 家 市 场 监 督 管 理 总 局** 发 布

太阳能集热器热性能测试计量规范 第一部分：单轴跟踪式抛物面聚光型太阳能集热器系统

Specification for Determining Thermal Performance of Parabolic Tracking Concentrating Solar Collectors with Single Axis

JJF XXXX-XXXX

**本规范经国家市场监督管理总局2019年XX月XX日批准，并自XXXX年XX月XX日期执行。**

|  |  |
| --- | --- |
| **归口单位：**  | 全国低碳计量技术委员会 |
| **主要起草单位：** | 上海市计量测试技术研究院中国计量科学研究院 |
| **参加起草单位：** | 天津大学上海交通大学 |

**本规范由归口单位负责解释**

**本规范主要起草人：**

葛志松（上海市计量测量技术研究院）

周方 （上海市计量测试技术研究院）

张亮 （中国计量科学研究院）

**参加起草人：**

任学弟 （上海市计量测试技术研究院）

 陈志豪 （天津大学）

 蔡萍 （上海交通大学）

目 录

**[1.](#_Toc2781854)****[范围](#_Toc2781854)** [1](#_Toc2781854)

**[2.](#_Toc2781855)****[引用文件](#_Toc2781855)** [1](#_Toc2781855)

**[3.](#_Toc2781856)****[术语和定义](#_Toc2781856)** [1](#_Toc2781856)

**[4.](#_Toc2781857)****[计量参数](#_Toc2781857)** [3](#_Toc2781857)

[4.1 响应时间 3](#_Toc2781858)

[4.2 太阳入射角 3](#_Toc2781859)

[4.3 系统接收到的太阳辐射能量 3](#_Toc2781860)

[4.4 热增益 4](#_Toc2781861)

[4.5 热性能 4](#_Toc2781862)

[4.6 入射角修正系数 4](#_Toc2781863)

**[5.](#_Toc2781864)****[计量装置](#_Toc2781864)** [4](#_Toc2781864)

[5.1 直接日射表 4](#_Toc2781865)

[5.2 总日射表 4](#_Toc2781866)

[5.3 质量流量计 4](#_Toc2781867)

[5.4 温度计 4](#_Toc2781868)

[5.5 角度测量仪 4](#_Toc2781869)

**[6.](#_Toc2781870)****[计量通用技术要求](#_Toc2781870)** [4](#_Toc2781870)

**[7.](#_Toc2781871)****[计量方法及结果处理](#_Toc2781871)** [5](#_Toc2781871)

[7.1 响应时间 5](#_Toc2781872)

[7.2 太阳入射角 6](#_Toc2781873)

[7.3 系统接收到的太阳辐射能量 7](#_Toc2781874)

[7.4 热增益 7](#_Toc2781875)

[7.5 热性能 7](#_Toc2781876)

[7.6 入射角修正系数 7](#_Toc2781877)

**[8.](#_Toc2781878)****[单轴跟踪式抛物面聚光型太阳能集热器系统的热性能计量不确定度](#_Toc2781878)** [8](#_Toc2781878)

**[9.](#_Toc2781879)****[报告信息](#_Toc2781879)** [9](#_Toc2781879)

太阳能集热器的热性能测试计量规范

第一部分：单轴跟踪式抛物面聚光型太阳能集热器系统

1. **范围**

本规范规定了在晴朗天气条件下，对单轴跟踪式抛物面聚光型太阳能集热器系统的热性能进行测试时，过程中的计量参数、计量设备、计量流程以及计量结果的表达等技术要求。

适用于传热流体通过单一进口进入系统，并且通过单一出口流出系统的单轴跟踪式抛物面聚光型太阳能集热器系统，以及可以视为单一进口和单一出口的集热器系统，例如多个相同集热模块并联后形成集热器阵列的情况。

本规范不适用于传热流体发生相变的太阳能集热器系统。

1. **引用文件**

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 12936 太阳能热利用术语

GB/T 26972 聚光型太阳能热发电术语

ISO 9806 Solar energy-Solar thermal collectors-Test methods 太阳能-太阳能集热器-试验方法

ASTM E905 Standard Test Method for Determining Thermal Performance of Tracking Concentrating Solar Collectors 跟踪聚焦式太阳能集热器热性能测试方法

1. **术语和定义**

下列术语和定义适用于本规范：

3.1 集热器：

太阳能加热系统中，接收太阳辐射并向其传热介质传递热量的部件，在聚光型太阳能系统中由聚光器和吸热器组成。

3.2 单轴跟踪式抛物面聚光型太阳能集热器系统：

反射聚光元件的光学表面为抛物面的聚光器，绕单一旋转轴做一维旋转运动实现跟踪太阳视运动的太阳集热器系统。根据旋转轴与水平面的摆放角度，可以分为平单轴跟踪和斜单轴跟踪。根据转轴与经线的相对摆放角度，可以分为南北向轴线跟踪和东西向轴线跟踪。斜单轴、南北向轴线跟踪是平时较为常见的单轴跟踪方式。

3.3 聚光器采光面积：

聚光器截获太阳辐射的最大投影面积，包括反射面被吸热器遮挡的部分以及反射面中间的空隙等部分的投影面积在内，计量单位为平方米（m2）。

3.4 直射辐照度：

直接日射在任意给定平面上形成的辐照度，计量单位为瓦每平方米（W/m2）。

3.5 总辐照度：

聚光器采光平面从上方2$π$立体角范围内接收到的直接日射和其他散射日射辐照度的总和，包括直射辐照度、天空漫射辐照度、其他部位反射的太阳辐射能等，计量单位为瓦每平方米（W/m2）。

3.6 晴朗天气条件：

太阳直射辐照度高于630W/m2，且在测试过程中，太阳直射辐照度和总辐照度在±4%的区间内波动。

3.7 准稳态：

在整个测试过程中，当系统的进口温度、进出口温差、传热流体的质量流量、环境温度等参数波动在下列的区间之内时，对应的测试条件则可被视为准稳态：

1、系统进口温度的波动允许范围为±0.2℃，或进、出口温差的±1.0%（取两个数值中的较大值）；

2、系统进、出口温差的波动允许范围为±0.4℃，或进、出口温差的±4.0%（取两个数值中的较大值）；

3、系统中传热流体的质量流量与定压比热容的乘积的波动允许范围为±1.0%；

4、环境温度的波动允许范围为±2.0℃；

5、环境风速不高于4.5m$∙$s-1。

3.8 集热器方位角：

聚光器表面法线在水平面上的投影与正南方的夹角。规定正南方为0°，向西为正，向东为负，变化范围是（-180°$\~$﹢180°）。

3.9 集热器倾斜角：

聚光器采光平面与水平面的夹角。

3.10 太阳入射角：

太阳入射光线与聚光器表面法线之间的夹角。太阳入射光线可分为两个分量，一个垂直于聚光器表面，一个平行于聚光器表面，只有垂直于聚光器表面的辐射能才能被集热器所利用。

3.11 响应时间：

在系统正常运行的状态下，将集热器快速完全遮光，传热流体的进、出口温差将逐步降低。响应时间指的是进、出口温差下降到其初始值10%所需要的时间。

或当系统的初始状态是在被遮蔽的情况下，开启系统稳定运行到新的准稳态条件时，迅速将集热器暴露在太阳直射下，传热流体的进、出口温差将逐步升高，当进、出口温差上升到其终止值的90%时，整个过程所需要的时间。

3.12 热增益：

传热流体在测试过程中所吸收到的太阳直射能量。

3.13 热性能：

在测试过程中，太阳能集热器系统的热增益与聚光器采光平面所接收到的太阳直射辐射能量之间的比值。

3.14 入射角修正系数：

当太阳入射角为某一数值时，太阳能集热器的热性能与太阳入射角为零时（近直射角范围内）的热性能之比。

1. **计量参数**

本规范的计量参数包括单轴跟踪式抛物面聚光型太阳能集热器系统的响应时间、太阳入射角、系统接收到的太阳直射辐射能量、热增益、热性能、入射角修正系数等。在本规范中，对上述计量参数的测试方法和数据计算方法进行了规定。

4.1 响应时间

响应时间是为了确定测试之前和测试期间系统稳定运行所需要的时间，从而保证整个测试过程处于准稳态，获得的测试结果可靠有效。在测试过程中，通过拦截集热器接收到的太阳直射辐射能量，引起系统温度发生波动，从系统的进、出口温差随时间波动的曲线中，可以计算得到响应时间。

4.2 太阳入射角

太阳入射角是太阳赤纬角、地理纬度、集热器倾斜角、集热器方位角以及太阳时角的函数。在太阳能集热器系统落位之后，太阳赤纬角、地理纬度、太阳时角都可以视为已知量，则太阳入射角就可以通过测量集热器的方位角和倾斜角计算得到。

4.3 系统接收到的太阳辐射能量

系统接收到的太阳辐射能量取决于聚光器采光面积，以及落在聚光器采光平面上的太阳直射辐照度。聚光器采光面积由其物理尺寸和落位方式决定。

4.4 热增益

热增益反应的是传热流体在测试过程中吸收到的太阳辐射能量，由传热流体的质量流量、定压比热容、进口温度、出口温度等参数计算得到。

4.5 热性能

根据定义，热性能可以由热增益与系统接收到的太阳辐射能量计算得到。

4.6 入射角修正系数

将测试中获得的太阳入射角、热性能整理成表格或曲线，以太阳入射角为零时（近直射角范围内）的热性能作为该太阳能集热器系统的热性能基准，其他太阳入射角的热性能与基准的比值作为入射角修正系数。针对该太阳能集热器系统，可以形成入射角修正系数表格，在后续实际运行过程中，通过测量每个时刻的太阳入射角，就可以利用该表格来查表预测该系统在某一时刻的热性能。入射角修正系数的测试多用于单轴跟踪式太阳能集热器系统，因为单轴系统在实际运行中无法时刻保持太阳直射到聚光器采光平面。

1. **计量器具控制**

5.1 直接日射表

用于测试太阳直接辐照度。直接日射表校准后的最大允许误差不超过±1.0%，与直接日射表配套使用的跟踪装置带来的误差应小于0.5%。

5.2 总日射表

用于测试太阳总辐照度。总日射表校准后的最大允许误差不超过±2.0%。

5.3 质量流量计

用于测试传热流体的质量流量。质量流量计校准后的最大允许误差不超过±2.0%。

5.4 温度计

用于测试传热流体的进口温度及出口温度。温度计的校准周期应不超过1年，校准后的准确度应高于±0.2℃。其中，在计算传热流体的平均温度时，系统进、出口温度取多次测量的平均值。

5.5 角度测量仪

用于测试集热器方位角和倾斜角等。角度测量仪的校准周期应不超过1年，校准后的准确度应高于±0.1°。

1. **测试条件**

在本规范中，通过测试计算太阳能集热器系统的热增益与聚光器采光平面所接收到的太阳直射辐射能量之间的比值，用来对单轴跟踪式抛物面聚光型太阳能集热器系统的热性能进行表示和评价。太阳能集热器系统的热性能受太阳入射角影响较大，对于单轴跟踪式太阳能集热器系统来说，其太阳入射角难以精确控制，在评价单轴跟踪式太阳能集热器系统的热性能时，必须注明该测试结果所对应的太阳入射角条件，需要对测试过程中的太阳入射角进行测试和记录。

在本规程中，定义了单轴跟踪式抛物面聚光型太阳能集热器系统的入射角修正系数。目的是利用本次测试中获得的不同太阳入射角和所相应的系统热性能，来对后续任意太阳入射角条件下的同一太阳能集热器系统的热性能进行预测。

在本规范中，定义了太阳能集热器系统的响应时间。在晴朗天气、准稳态条件下，测试前太阳能集热器系统的正常连续稳定运行时间应不少于响应时间的2倍，测试期间太阳能集热器系统的正常连续稳定运行时间应不少于响应时间的1.5倍（或5分钟，取两者之间的较大值），来保证测试结果的有效性。

在测试过程中，为了尽可能的减少太阳能集热器系统向环境中散发的热量损失，在保证传热流体可以正常工作的前提下，集热器系统的流体进口温度应尽可能的接近环境温度。

在测试过程中，太阳能集热器系统应按照说明书准确落位，落位的经度误差和维度误差均应小于0.1°。直接日射表的追踪装置应正确落位，与聚光器表面法线保持平行。同时，系统的聚光器表面、吸热器表面、直接日射表的视窗玻璃、总日射表的视窗玻璃等均应按照说明书每天清洗干净，以保证光学部件的镜面清洁度。

在测试过程中，系统内传热流体的流速应保持稳定。流体温度和太阳辐照度的测试采样间隔应不超过10秒，其他参数的测试采样间隔应不超过30秒，采样数量应不少于10个。

1. **计量方法及结果处理**

7.1 响应时间

测量响应时间的方法有两种，一是遮蔽法，二是暴露法。在测试过程中使用的传热流体应与系统正常稳定运行时所使用的传热流体保持一致。

7.1.1 遮蔽法

首先将传热流体进口温度调节至可以达到的最低温度（一般可以调节到环境温度±10.0℃的范围内），以减少系统与环境之间的热量损失。

开启系统，当系统在预设的流速下稳定运行至达到新的准稳态条件时，测量传热流体进、出口温度并计算温差。

迅速遮蔽集热器，使系统接收到的太阳直射辐照度降低至接近零值，遮蔽的方法可以采取把集热器转动到反向太阳的方式，也可以采用使用白色不透明的遮蔽物遮挡集热器的方式，在遮蔽时注意不要影响系统内传热流体正常运行。

保持各个计量仪器正常采样，记录传热流体进、出口温度及温差，直至整个系统再次达到新的准稳态条件，绘制整个测试过程中进、出口温差随时间变化的曲线图，得到进、出口温差下降到其初始值的10%所需要的时间即为响应时间。

7.1.2 暴露法

在采用暴露法测量响应时间时，系统的初始状态是在被遮蔽的情况下，保持传热流体以及单轴跟踪装置正常运行，其中采用的遮蔽集热器的方法与7.1.1相同。

首先将传热流体进口温度调节至可以达到的最低温度（一般可以调节到环境温度±10.0℃的范围内），以减少系统与环境之间的热量损失。

开启系统，当系统在预设的流速下稳定运行至达到新的准稳态条件时，测量传热流体进出、口温度并计算温差。

迅速将遮蔽状态的集热器暴露在太阳直射下，使系统接收到的太阳直射辐照度由接近零值迅速升高至晴朗天气条件。

保持各个计量仪器正常采样，记录传热流体进、出口温度及温差，直至整个系统再次达到新的准稳态条件，绘制整个测试过程中进、出口温差随时间变化的曲线图，得到进、出口温差上升到其终止值的90%所需要的时间即为响应时间。

7.2 太阳入射角

太阳入射角可以通过公式1计算得到：

 （公式1）

式中：

$δ$ —— 太阳赤纬角，单位为゜；

$∅$ —— 地理纬度，单位为゜；

$β$ —— 集热器倾斜角，单位为゜；

$γ$ —— 集热器方位角，单位为゜；

$ω$ —— 太阳时角，单位为゜。

其中，集热器的方位角和倾斜角通过测试得到，地理纬度和太阳时角可以视为已知角度。太阳赤纬角可以通过公式2计算得到，

 （公式2）

*n* —— 所求日期在一年中的日子数，可以通过表1查询得到。

表1 推荐每月的平均日及相应的日子数

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **月份** | **各月第*i*天日子数的算式** | **各月平均日\*** | **该天的日子数*n*（天）\*\*** | **赤纬角δ（゜）** |
| 1月 | *i* | 17日 | 17 | -20.9  |
| 2月 | 31 + *i* | 16日 | 47 | -13.0  |
| 3月 | 59 + *i* | 16日 | 75 | -2.4  |
| 4月 | 90 + *i* | 15日 | 105 | 9.4  |
| 5月 | 120 + *i* | 15日 | 135 | 18.8  |
| 6月 | 151 + *i* | 11日 | 162 | 23.1  |
| 7月 | 181 + *i* | 17日 | 198 | 21.2  |
| 8月 | 212 + *i* | 16日 | 228 | 13.5  |
| 9月 | 243 + *i* | 15日 | 258 | 2.2  |
| 10月 | 273 + *i* | 15日 | 288 | -9.6  |
| 11月 | 304 + *i* | 14日 | 318 | -18.9  |
| 12月 | 334 + *i* | 10日 | 344 | -23.0  |

注：\* 按某日算出大气层外的太阳辐射量和该月的日平均值最为接近，则将该日定作该月的平均日。

  \*\* 表中的*n*数没有考虑闰年，对应闰年3月份之前的*n*要加1，赤纬角也稍有改变。

7.3 系统接收到的太阳辐射能量

系统接收到的太阳辐射能量可以通过公式3计算得到。

$P\_{in}=E\_{S,D}∙A\_{a}$ （公式3）

式中：

ES,D —— 太阳直射辐照度，单位为W/m2；

$A\_{a}$ —— 聚光器采光面积，单位为m2。

太阳直射辐照度由直接日射表测试得到。聚光器采光面积由其物理尺寸和落位方式决定，通过测试得到。

7.4 热增益

传热流体吸收到的太阳直射热能，可以由传热流体的质量流量、定压比热容、进、出口温差计算得到。热增益可以通过公式4计算得到：

$\dot{Q}=\dot{m}C\_{P}∆t\_{a}$ （公式4）

式中：

$\dot{m}$ —— 传热流体的质量流量，单位为kg/s；

*CP* —— 传热流体的定压比热容，单位为J/(kg$∙$℃)；

$∆t\_{a}$ —— 传热流体的进出口温差，单位为℃。

传热流体的质量流量由质量流量计测量得到，定压比热容通过**查表**得到，进出口温度由温度计测量得到。

7.5 热性能

首先将传热流体进口温度调节至可以达到的最低温度（一般可以调节到环境温度±10.0℃的范围内），以减少系统与环境之间的热量损失。

开启系统，在系统正常稳定连续的情况下，通过测试以上相关参数，热性能可以通过公式5计算得到：

$R\left(θ\right)=\dot{Q}/P\_{in}$ （公式5）

7.6 入射角修正系数

入射角修正系数用来表征单轴系统在实际运行状态下，太阳从任意非直射角度入射时的系统热性能与近直射角度范围内的系统热性能之间的比值，用一个无量纲量K(θ)来表示，其中θ表示太阳入射角。

根据测得的每一个太阳入射角，以及其相对应的热性能，找到太阳入射角等于零时的热性能值作为基准，将其他太阳入射角对应的热性能数值与基准值进行比较，得到每个太阳入射角的修正系数。

入射角修正系数可以通过公式6计算得到：

K(θ) =$\frac{R\left(θ\right)}{R\left(0^{°}\right)}$ （公式6）

式中：

$R\left(0^{°}\right)$ —— 近直射角度范围内的系统热性能，单位为%。

1. **单轴跟踪式抛物面聚光型太阳能集热器系统的热性能计量不确定度**

不确定度分析是一个完整太阳能集热器热性能计量系统的基本组成之一。其不确定度分析主要步骤为：

**步骤8-1：确定单个变量的不确定度：**

 **(1) 传热流体在管道中质量流量测量的不确定度*U(***$\dot{m}$***)*：**

可通过所选用的质量流量计量仪器的准确度等级确定，如±2%等。该不确定度需要通过以下两部分资料信息确认：

(i) 设备铭牌（或技术说明书）；

(ii) 校准证书、检定证书或其他文件提供的数据。

**(2) 传热流体在管道中温度测量的不确定度*U(t)*：**

可通过所选用的温度计量仪器的准确度等级确定，如±0.2℃、±0.1℃等。该不确定度需要通过以下两部分资料信息确认：

(i) 设备铭牌（或技术说明书）；

(ii) 校准证书、检定证书或其他文件提供的数据。

**(3) 太阳直射辐照度测量的不确定度*U(****E*S,D***)*：**

可通过所选用的太阳直射计量仪器的准确度等级确定，如±1.0%、±1.5%等。该不确定度需要通过以下两部分资料信息确认：

(i) 设备铭牌（或技术说明书）；

(ii) 校准证书、检定证书或其他文件提供的数据。

**(4)聚光器采光面积测量的不确定度*U(A***a***)*：**

(i) 若该变量数值由集热器生产厂家直接提供，则不确定度*U(****A***a*)* 可通过生产厂家的生产使用说明书中的数据来确定；

(ii) 若该变量数值使用聚光器的总长度和宽度值计算，则不确定度*U(****A***a*)* 可根据长度计量仪器的不确定度登记确定。

**步骤8-2：将单个变量的不确定度合并为太阳能集热器热性能的总不确定度：**

**(1) 应用乘除运算的误差传递公式，计算太阳能集热器热性能的不确定度*U(R（***θ***）)***

当某一估计值为*n*个估计值之积时，该估计值的不确定度采用下式计算：

 （公式7）

式中：

*Uc* —— *n*个估计值之积的不确定度(%)；

*Us*1*…Usn* —— *n*个相乘的估计值的不确定度(%)。

由于***U(R（***θ***）)***为四个估计值的乘除运算，因此其不确定度采用下式计算：

*U(****R（***θ***）****)* = $\sqrt{U(ADi)^{2}+U(NCVi)^{2}+U(EF\_{i})^{2}+U(OXID\_{i})^{2}}$ （公式8）

**步骤8-3：报告测量结果**

报告测量结果，包括太阳能集热器热性能计量估值结果及其测量不确定度。

1. **报告信息**

报告应包括下列信息：

1）测试系统的基本信息，如规格型号、装置落位位置、委托单位的地址等；

2）测试情况说明，包括测试计划的制定与更改情况、实际监测与监测计划的一致性等；

3）测试和计算信息；

4）不确定性产生的原因及降低不确定性的方法说明；

5）其他应说明的情况；

6）真实性声明。