

# GRLM

## 国家太阳能光热产业技术创新战略联盟标准

T/GRLM 02-2014

---

### 太阳定日镜跟踪准确度测量方法

Test Method for Solar Heliostat Tracking Accuracy

2014-08-21 发布

2014-08-28 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 定日镜结构和跟踪准确度测量系统组成.....	2
5 测试仪器.....	3
6 测试时太阳辐照和气象条件.....	3
7 跟踪准确度测量方法.....	3
8 定日镜跟踪质量的判断.....	4
附 录 A.....	5

# 前 言

本标准按照 GB/T 1.1-2009 给出的规则起草。

本标准由中国科学院电工研究所提出。

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：中国科学院电工研究所、皇明太阳能股份有限公司、中国科学院长春光学精密机械与物理研究所、中国标准化研究院。

本标准主要起草人：王志峰、孙飞虎、郭明焕、闫忠、卢振武、王赓。

本标准为首次发布。

# 太阳定日镜跟踪准确度测量方法

## 1 范围

本标准规定了太阳定日镜跟踪准确度测量和评价方法。

本标准适用于将太阳法向直射辐射反射聚集到固定位置的不同尺寸和传动方式的定日镜。

## 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。凡是注明日期的引用文件，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（包括所有的修改版）适用于本文件。

GB/T 12936-2007	太阳能热利用术语
GB/T 26972-2011	聚光型太阳能热发电术语

## 3 术语和定义

下列术语及其定义适用于本文件。

### 3.1

**定日镜方位角-高度角跟踪 heliostat azimuth-elevation tracking**

双轴跟踪方式的一种，定日镜两旋转轴中一轴沿竖直方向并相对地面固定，另一轴沿水平方向并相对镜面固定，定日镜绕双轴做二维旋转运动，跟踪太阳视运动并将太阳辐射会聚到目标靶。

### 3.2

**定日镜跟踪准确度（或跟踪误差） heliostat tracking accuracy (or error)**

太阳光经定日镜会聚于靶面上所形成图案的几何中心点与靶面上目标点间的连线相对于定日镜旋转中心点的张角，以其多次测量值的均方根（RMS）表达，单位为 mrad。

### 3.3

**定日镜跟踪精确度（或跟踪精度，跟踪偏差） heliostat tracking precision**

定日镜旋转中心点相对于太阳光经定日镜会聚于靶面上所形成图案的几何中心点与测试时段内图案的平均几何中心点连线的张角，以其多次测量值的均方根（RMS）表达，单位为 mrad。

### 3.4

**吸热器采光口 receiver aperture**

接收太阳辐射的吸热器入口或吸热器敞开口。

## 4 定日镜结构和跟踪准确度测量系统组成

### 4.1 定日镜结构

定日镜包括反射镜、支撑结构、传动装置和控制装置等部分，其结构及组成部件名称见图 1。

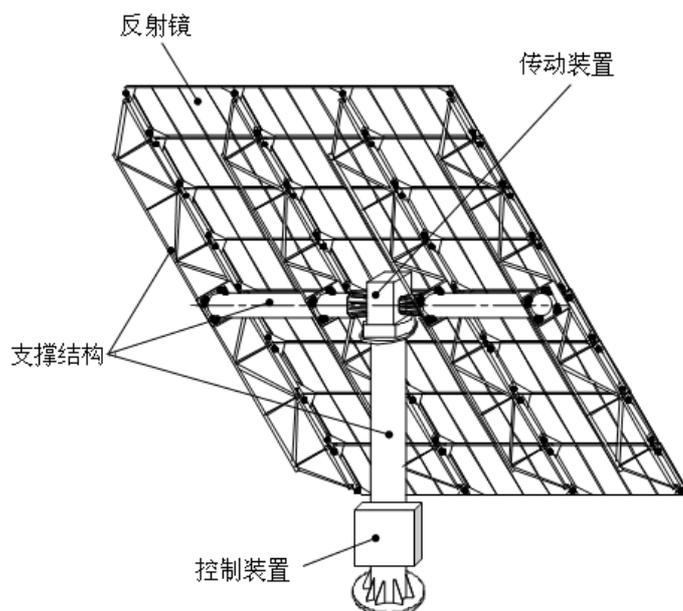


图 1 定日镜结构示意图

### 4.2 定日镜跟踪准确度测量系统组成

定日镜跟踪准确度测量采用非接触式视觉检测方法，利用 CCD 相机采集定日镜在目标靶上形成的光斑图像，然后通过图像处理获取定日镜聚光特性参数。这套系统主要由 CCD 相机、目标靶、计算机、图形采集和处理软件、风速风向传感器、太阳法向直射辐照表等组成，如图 2 所示。

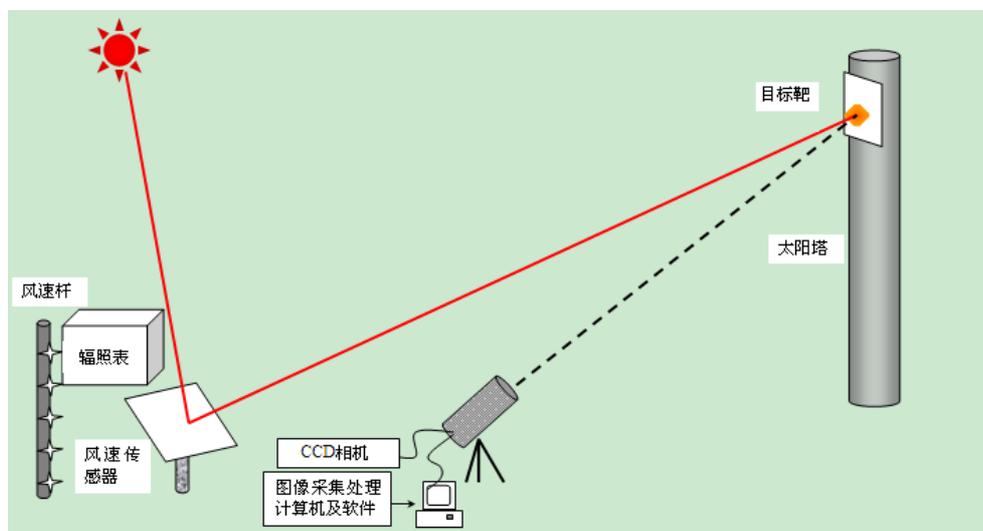


图 2 定日镜跟踪准确度测量系统组成

## 5 测试仪器

### 5.1 太阳能辐照测试仪器

法向直射辐照表：量程 0-4000 W/m<sup>2</sup>，分辨率 0.03W/m<sup>2</sup>。

### 5.2 风速测试仪器

风速计：量程 0-60m/s，分辨率不大于 0.8m/s。布置于定日镜上风向，距定日镜不小于 150 米，沿不同高度布置三个传感器：定日镜全高 1/2，全高，大于全高加 2 米。

### 5.3 图像采集系统

黑白 CCD 相机：A/D 量化等级 8bit，帧率不小于 15fps，分辨率不小于 768×576，工作温度-20℃-45℃，存储温度-30℃- 60℃。

### 5.4 目标靶

靶表面具有漫反射率特性，表面在 100℃时没有变形和变色，对于腔体式吸热器，靶的尺寸应大于吸热器采光口尺寸。对于圆周柱形吸热器，靶的尺寸应大于吸热器的直径与高度组成的矩形。

## 6 测试时太阳辐照和气象条件

### 6.1 辐照和气象条件

测试期间太阳辐照和气象条件要求如下：

——测试周期内的风速必须覆盖定日镜要求的工作风速范围（推荐为 0-14m/s），为此测试可能持续多天；

——环境空气温度不低于-30℃，不高于 50℃；

——太阳法向直射辐照度大于 300W/m<sup>2</sup>。

### 6.2 数据采集

——风速、光斑图像、太阳法向直射辐照度和环境空气温度同步采集。

## 7 跟踪准确度测量方法

### 7.1 采集光斑图像

7.1.1 通过调整 CCD 相机光圈、焦距、放大倍率、俯仰及方位角度可使目标靶充满相机的整个视场；

7.1.2 启动定日镜，使定日镜将太阳辐射聚焦到目标靶；

7.1.3 启动 CCD 相机采集靶面的光斑图像，覆盖定日镜的工作姿态范围。

### 7.2 计算光斑几何中心

分割 7.1.3 采集的每帧光斑灰度图像的光斑与背景，并以光斑内像素的总量作为光斑的面积。与此面积相等的正方形作为光斑图像中提取光斑的裁剪窗，用该裁剪窗在整个光斑图案上进行截取，以所有截取窗口内灰度值总量最大的位置作为光斑有效区域，光斑有效区域的几何中心即为光斑中心。附录 A 给出了光斑图像中目标靶中心和光斑几何中心的计算

方法。

### 7.3 计算定日镜跟踪准确度

分析 7.1.3 采集到的第  $i$  帧光斑照片，计算此时此刻的定日镜跟踪准确度，如式 (1) 所示：

$$\eta = \sqrt{(x_i - x_0)^2 / \mu^2 + (y_i - y_0)^2 / \mu^2} / L \times 1000 \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- $\eta$  —— 定日镜跟踪准确度；
- $L$  —— 定日镜的旋转中心到目标点的斜向距离；
- $\mu$  —— 像素与长度的转换因子
- $(x_0, y_0)$  —— 光斑图像中目标靶的中心坐标；
- $(x_i, y_i)$  —— 第  $i$  帧光斑照片中光斑几何中心坐标。

## 8 定日镜跟踪质量的判断

### 8.1 跟踪准确度的分布

将公式 (1) 计算得到的  $\eta$  结果表达为图3。该图中可见测试期间内不同风速下定日镜跟踪准确度出现在3.5mrad内的频率。

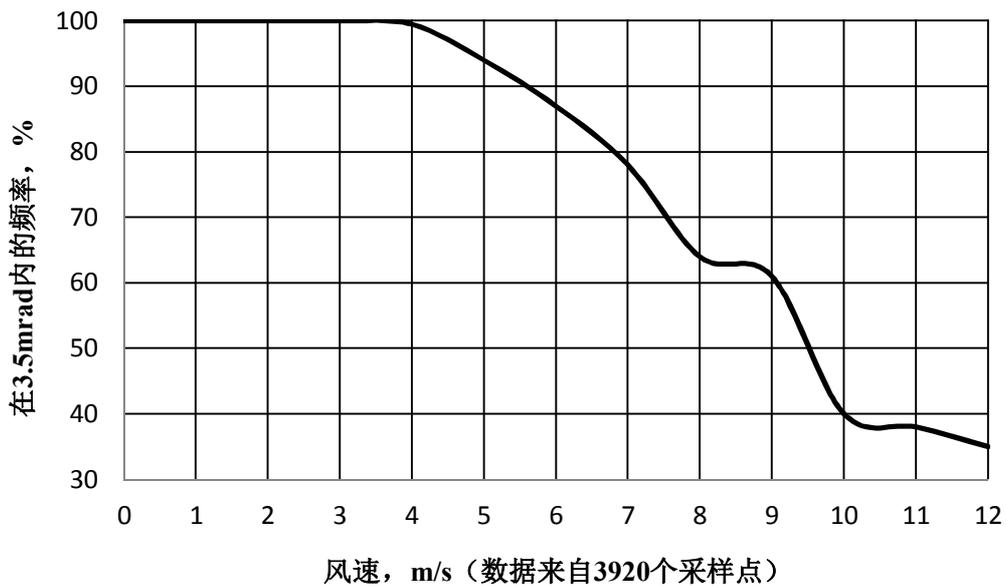


图 3 不同风速下定日镜跟踪准确度在 3.5mrad 内的频率示例

### 8.2 定日镜跟踪质量阈值

同时满足以下条件的定日镜为合格：

- 在4m/s风速下跟踪准确度达到3.5mrad的概率大于99%；
- 在8m/s风速下跟踪准确度达到3.5mrad的概率大于62%；
- 在11m/s风速下跟踪准确度达到3.5mrad的概率大于33%。

## 附录 A

### (规范性附录)

#### 目标靶中心和光斑几何中心计算方法

##### A.1 光斑图像中目标靶中心的计算方法

启动定日镜跟踪准确度测量系统的CCD相机采集图像，利用目标靶上四个黑色直角框标定出目标靶中心 $(x_0, y_0)$ ，如图A.1所示。

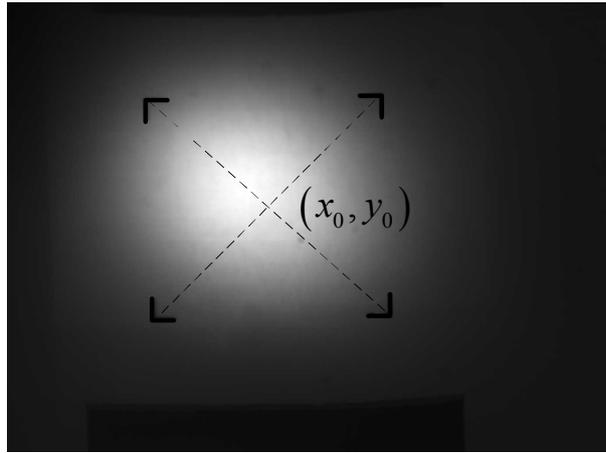


图 A. 1 光斑图像中目标靶中心

##### A.2 光斑图像中光斑几何中心计算方法

分割7.1.3采集的每帧光斑灰度图像的光斑与背景，并以光斑内像素的总量作为光斑的面积。以与此面积相等的正方形作为光斑图像中提取光斑的裁剪窗，用该裁剪窗在整个光斑图案上进行截取，以所有截取窗口内灰度值总量最大的位置作为光斑有效区域，光斑有效区域的几何中心即为光斑中心，如图A.2所示。几何中心的计算方法如下：

$$I(x, y) = \begin{cases} 0 & g(x, y) < T \\ g(x, y) & g(x, y) \geq T \end{cases} \quad \dots\dots\dots (A. 1)$$

$$l = \sqrt{S}, \quad l < \min(H, W) \quad \dots\dots\dots (A. 2)$$

$$f(x, y) = \sum_{i=\left\lfloor x-\frac{l}{2} \right\rfloor}^{\left\lfloor x+\frac{l}{2} \right\rfloor} \sum_{j=\left\lfloor y-\frac{l}{2} \right\rfloor}^{\left\lfloor y+\frac{l}{2} \right\rfloor} I(i, j), \quad \left[ \frac{l}{2} \right] + 1 \leq x \leq H - \left[ \frac{l}{2} \right] \quad \text{且} \quad \left[ \frac{l}{2} \right] + 1 \leq y \leq W - \left[ \frac{l}{2} \right] \quad \dots\dots\dots (A. 3)$$

$$f(x_c, y_c) = \max f(x, y) \quad \dots\dots\dots (A. 4)$$

式 A.1、A.2、A.3、A.4 中：

$g(x, y)$  ——未分割光斑与背景的光斑灰度图像  $(i, j)$  处的灰度值;

$T$  ——基于灰度直方图求出的用于分割光斑与背景的阈值;

$I(i, j)$  ——分割光斑与背景的灰度图像  $(i, j)$  处灰度值;

$S$  ——光斑面积;

$l$  ——提取光斑的窗口边长;

$f(x, y)$  ——采样窗口内所有像素灰度值总量;

$[\cdot]$  ——取整计算;

$H$  ——灰度图像的行数;

$W$  ——灰度图像的列数;

$(x_c, y_c)$  ——光斑图像中光斑的几何中心坐标。

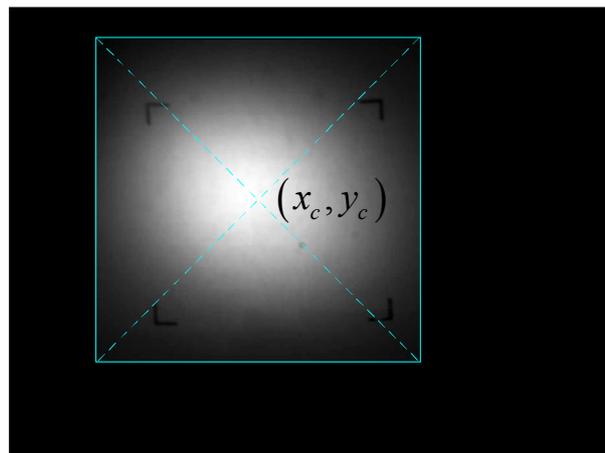


图 A. 2 光斑几何中心