

CSTA

国家太阳能光热产业技术创新战略联盟标准

T/CSTA 21-2024

定日镜场聚光能流密度测试方法

Test Method for Concentration Energy Flux Density of Heliostat Field

2024 - 05 - 28 发布

2024 - 06 - 28 实施

国家太阳能光热产业技术创新战略联盟 发布

目 次

目 次.....	II
前 言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 测试系统组成.....	2
5 仪器设备.....	2
6 测试条件.....	3
7 测试过程.....	3
8 数据分析与测试结果.....	4

前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由国家太阳能光热产业技术创新战略联盟提出。

本文件由国家太阳能光热产业技术创新战略联盟归口并解释。

本文件参加起草单位：中国科学院电工研究所、兰州理工大学。

本文件主要起草人：孙飞虎、郭明焕、白凤武、宫博、朱会宾、徐立、李婧、李金平、王志峰。

本文件为首次发布。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至国家太阳能光热产业技术创新战略联盟秘书处（地址：北京市海淀区中关村北二条6号，100190，网址：<http://www.cnste.org>，邮箱：cnste@vip.126.com）。

定日镜场聚光能流密度测试方法

1 范围

本文件规定了定日镜场在吸热器采光口平面上聚光能流密度的测试方法。

本文件适用于定日镜场在吸热器采光口平面上聚光能流密度的测试。

2 规范性引用文件

下列文件对本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 12936-2007 太阳能热利用术语

GB/T 17357-2008 设备及管道绝热层表面热损失现场测定热流计法和表面温度法

GB/T 26972-2011 聚光型太阳能热发电术语

GB/T 51307-2018 塔式太阳能光热发电站设计标准

T/CRES 0002-2018 太阳定日镜跟踪准确度测量方法

T/GRLM 13-2019 定日镜支架质量与性能检验方法

JJF（冀）107-2012 热流计校准规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 定日镜场 heliostat field

由多台定日镜组成将太阳辐射聚集至吸热装置的区域。

[来源：GB/T 26972-2011，6.11]

3.2 法向直射辐照度 normal direct solar irradiance

直接日射在与射束垂直的平面上的辐照度。

[来源：GB/T 12936-2007，3.24]

3.3 热流密度 heat flux

单位面积接受到的辐射热功率，单位为 W/m^2 。

3.4 热流传感器 heat flux transducer; HFT

利用在具有确定热阻的板材上产生温度差来测量通过它本身的热流密度的装置。

3.5 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。

[来源：GB/T 26972-2011，4.10]

4 测试系统组成

定日镜场聚光能流密度测试采用非接触式视觉检测方法，利用标定靶确定能流密度与 CCD 采集图像像素灰度值的转换关系，通过多台定日镜光斑图像叠加重建的方式，获得整个定日镜场在吸热器采光口平面上的能流密度分布。图 4.1 所示的是定日镜场聚光能流密度测试系统组成，包括 CCD 相机、目标靶、标定靶、直接日射表、风速传感器和数据采集器，其中直接日射表和风速传感器连接到数据采集器上。

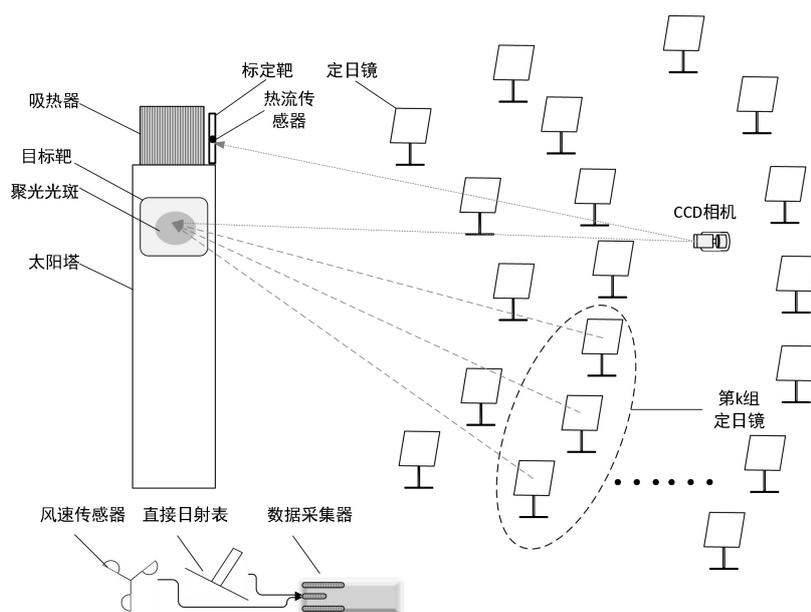


图4.1 定日镜场聚光能流密度测试系统组成

5 仪器设备

5.1 直接日射表

量程 0-2000 W/m²，零偏移不超过 3W/m²。

5.2 风速传感器

量程 0-30m/s，分辨率不大于 0.8m/s。

5.3 热流传感器

量程不小于 10kW/m²，精度不超过 3%。

5.4 目标靶

具有均匀漫反射的白色平面。

5.5 标定靶

通过标定靶确定能流密度与 CCD 图像像素灰度值的转换关系，主要包括标定靶面、电动滑台、热流传感器及其数据采集器、支架等组成，如图 5.1 所示。标定靶面与目标靶的材质相同。标定靶的尺寸无限制，不大于定日镜面积的 1%。

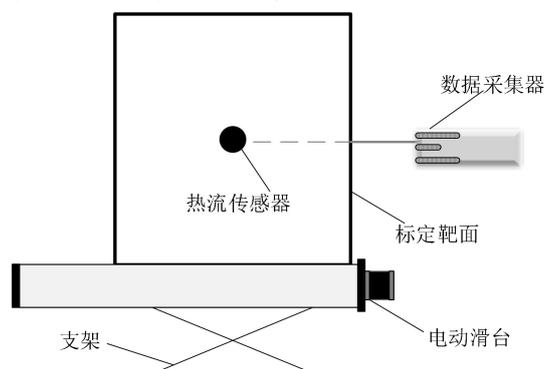


图5.1 标定靶组成示意图

5.6 CCD 相机

CCD 采集图像中目标靶区域像素个数不小于 100 万。

6 测试条件

测试期间太阳辐照和气象条件要求如下：

- 风速不高于 4m/s；
- 太阳法向直射辐照度不低于 300W/m²。

7 测试过程

7.1 标定能流密度与图像像素灰度值的转换关系

- 7.1.1 把标定靶放置在太阳塔上吸热器高度方向中心处，标定靶放置的高度要保证定日镜可以在靶上形成光斑；
- 7.1.2 选定 CCD 相机的俯仰和方位，使标定靶位于相机的视场中，仰角（与水平面的夹角）不大于 25°；
- 7.1.3 启动 1 台定日镜，使 1 台定日镜将太阳辐射聚焦到标定靶上；
- 7.1.4 调节并固定 CCD 相机的曝光时间。控制标定靶面移动，并启动 CCD 相机采集多帧图像，并记录图像采集时刻的太阳法向直射辐照度和热流传感器的测量值；
- 7.1.5 控制定日镜回到准备好点。

7.2 分组采集聚光光斑图像

- 7.2.1 调整 CCD 相机的位置，使目标靶位于相机的视场中心；
- 7.2.2 把定日镜场分成 N 组，所有定日镜处于准备好点；
- 7.2.3 以目标靶中心为定日镜目标点，控制一组，也可是一台定日镜在目标靶上形成光斑；

7.2.4 启动相机采集一帧图像，保存到计算机上；

7.2.5 控制这一组定日镜回到准备好点；

7.2.6 选取下一组定日镜，重复 7.2.3、7.2.4 和 7.2.5 操作，直到完成 N 组（台）定日镜的光斑采集。

8 数据分析与测试结果

8.1 标定能流密度与灰度值转换关系

在 CCD 相机动态范围内，当光圈数不变时，图像亮度与曝光时间成线性关系。因此，移动靶扫过光斑过程中，获得 M 组热流传感器所测得热流密度、光斑图像内热流传感器所在区域内的所有像素灰度值的均值和太阳法向直射辐照度的测量值，在此基础上建立能流密度与灰度值的对应关系。

第 i 组数据中，在太阳法向直射辐照度 $G_{DN,i}$ 的条件下，CCD 采集的光斑图像内的热流传感器的表面区域内有 n_{HFT_pixels} 个像素， n_{HFT_pixels} 个像素的灰度值之和为 P_{HFT_sum} ，则能流密度对应的像素灰度值 $P_{HFT,i}$ ：

$$P_{HFT,i} = \frac{P_{HFT_sum}}{n_{HFT_pixels}} \dots\dots\dots (1)$$

通过 M 组数据，可以拟合出能流密度与灰度图像像素灰度值的转换关系式 $f(P)$ ，其中 P 为灰度值， k 为比例因子， C 为能流密度值常数， $f(P)$ 为灰度值 P 对应的能流密度值。

$$f(P) = k \cdot P + C \dots\dots\dots (2)$$

8.2 N 组光斑数据叠加计算

定日镜场分成 N 组，第 k 组定日镜在目标靶上形成光斑图像，太阳法向直射辐照度为 $G_{DN,k}$ ，第 k 组光斑图像内 (i,j) 位置的灰度值为 $P_{k,(i,j)}$ ，则第 k 组光斑图像内 (i,j) 位置的能流密度 $q_{k,(i,j)}$ ：

$$q_{k,(i,j)} = f(P_{k,(i,j)}) \dots\dots\dots (3)$$

定日镜场聚光能流密度与太阳法向直射辐照度成线性关系，各组光斑采集时刻对应的太阳法向直射辐照度略有差异。因此，在 $G_{DN,k}$ 时采集的 k 组光斑图像内所有点的能流密度都转换成 $G_{DN,HFT}$ 对应的能流密度 $\hat{q}_{k,(i,j)}$ ：

$$\hat{q}_{k,(i,j)} = \frac{G_{DN,HFT}}{G_{DN,k}} \cdot q_{k,(i,j)} = \frac{G_{DN,HFT}}{G_{DN,k}} \cdot f(P_{k,(i,j)}) \dots\dots\dots (4)$$

把 N 组光斑图像叠加后近似得到整个定日镜场同时聚光光斑图像，则叠加后光斑图像内 (i,j) 位置的能流密度 $q_{sum,(i,j)}$ ：

$$q_{sum,(i,j)} = \sum_{k=1}^N \hat{q}_{k,(i,j)} \dots\dots\dots (5)$$

通过光斑图像像素与长度的转换关系 η ，可以获得吸热器采光口平面的能流密度分布，光斑总辐射功率 Q ：

$$Q = \sum_i \sum_j q_{sum,(i,j)} \cdot \eta \cdot \eta \dots\dots\dots (6)$$

