





## 聚光能流密度测量方法研究

# 孙飞虎 郭明焕 中国科学院电工研究所 2019年8月21日

a 🔀 😂 🔤 🔤 🏹











CHINEM ACADEMY OF SOLECES

www.cas.cn



定日镜场中大量的定日镜同时聚光,在塔顶吸热器采光面上形成高强度非均匀的能流密度。 受太阳位置、太阳辐照度、环境条件以及定日镜跟踪质量等因素影响,能流密度分布随时间不断变化。 能流密度分布实时测量是评价定日镜场和吸热器性能的重要参数,同时是优化定日镜场跟踪目标点设置

的重要依据。

在塔式太阳能热发电系统中,吸热器采光口平面聚光能流密度分布的测量对优化整个系统的光热性能及 安全性具有着重要意义。







MDF in SSPS-CRS

-





间

接式

## \*移动靶+CCD \*摄影能流测量法 \*无需接受靶测量法 \*红外相机法



-----

中国科学院电工研究所 INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERING, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES



间

接式

中国科学院电工研究所三套基于间 接式测量方法的能流密度测量设备。 分别用于太阳炉及太阳模拟器。















中国科学院电工研究所 INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERING, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES





摄影能流测量法



摄影能流测量法示意图

$$E_{R,i} = \frac{\left(P_{CCD,i} - P_{CCD-ambient,i}\right)E_{DNI}}{\rho_{R,i}\tan^2(\delta_{sun}/2)} \frac{\pi n_{sun-pixels}^2}{\sum_i P_{CCD\_sun,i}} \frac{f_{receiver}}{f_{sun}}$$

▶ 利用CCD相机拍摄接受靶上的光斑图像;

- ▶ 同一部相机,完全相同的相机参数正对太阳拍摄太阳的图像;
- ▶ 根据太阳灰度图像并结合当时的DNI 来标定相机像素灰度 值与能流密度值的比例因子;
- ▶ 接受靶上的光斑亮度图像转换成接受靶上的能流密度分布。







无需接受靶测量法

- ▶ 直接将吸热器的表面作为接受面,无需额外的接受靶;
- ▶ 这种方法结构简单,支持持续测量,但要求接受面具有漫反射 特性。

## 红外相机法

- ▶ 运用红外相机直接拍摄接受器的表面图像,经过图像处理得到 吸热器表面的温度分布;
- ▶ 构建热力学模型,把温度分布转换为能流密度分布。



es 57 😂 🖂 🧖 🖓 💒 🕯





实

验

支

撑

的

仿真

法



- ▶ 应用于PSA
- ▶ 利用仿真软件STRAL, 通过输入各项参数获得仿真值
- ▶ 借助实验验证仿真值
- ▶ 通过仿真来计算吸热器采光口聚光能流密度分布













## 聚光光斑叠加重建法计算聚光能流密度分布



塔式太阳能热发系统定日镜跟踪校正系统示意图

- ▶ 校正系统的目标靶无法承受一定数量的定日镜同时聚焦产生的光斑;
- ▶ 聚光光斑灰度图像像素值与能流密度值转换因子。



- ✓ 镜场多区域依次连续在目标靶上形成聚焦光斑;
- ✓ 多区域光斑叠加重建全镜场聚焦光斑;
- ✓ CCD标定系统& 气象站。





矾山黄帝城太 阳能跨季节储 热试验示范工 程的集热场

分组光斑的 连续测量





CCD工作参数与能 流密度值标定系统



- ▶ 便携移动式设备
- ▶ 无需水冷系统
- ▶ 镜场分成11组,以组为单位控制定日镜;
- ▶ 调节CCD工作参数使其工作在动态范围内;

3

▶ 全程测量DNI;

















## 月光法定日镜场聚光能流密度分布测量法







 $CR(x, y)_{moon} = I(x, y)/D NI_{moon}$ 

- CR(x,y)<sub>moon</sub> : 直接测量得到月光聚光光斑的聚光比分布
  - *I(x,y)* : 聚光光斑照度值在xy平面的离散采样
  - DNI<sub>moon</sub> :月光法向直射辐照度

 $CR(x, y)_{sun} = CR(x, y)_{moon}$ 

CR(x,y)<sub>sun</sub>:日光聚光光斑的能流密度相对比值分布

$$F(x, y) = CR(x, y)_{sun} \cdot DNI = CR(x, y)_{moon} \cdot DNI$$
  
 $F(x, y)$  : 日光聚光光斑的离散点处的能流密度

- ▶ 通过数据插值可以得到连续的日光聚光光斑能流密度分布;
- ▶ 公式中的各个参数都是时间函数,并随时间的变化而变化;
- ▶ 由于各种误差的影响, CR(x, y)<sub>moon</sub>并不等于CR(x, y)<sub>sun</sub>, 因此需要明确两者之间的对应关系。



朗伯靶及照度计阵列的安装位置



月光光斑测量系统



2018年9月24日晚21:21镜场状态





2018年9月25日 01:59月光 聚光光斑





由扫描进行高斯拟合得到的光斑照度分布与用照度计实 测数据标定光斑图像得到的光斑照度分布大致相同。













边界插值重建方法计算能流密度分布

任何二元高斯函数(椭圆形高斯函数)可以完全由其矩形区域边界上的 函数值准确插值重建,无需知道函数具体的表达式或者特征参数值。





基于边界插值重建方法计 算吸热器采光口聚光能流 密度分布的方案

es 🛜 😂 🔜 🕅 🍂

边界插值重建方法使用条件:聚光光斑呈高斯分布。







#### TEST 1



聚月光斑三维曲面图

TEST 2



2018年9月25日 01:59月光 聚光光斑



TEST 3



叠加重建镜场聚光光斑灰度图像



聚光光斑能流密度三维网格图

▶ 利用照度计标定CCD采集聚月光斑图像;
 ▶ 光斑扫描照度计阵列拟合镜场聚光光斑。









## 谢谢!

## 孙飞虎 13810146636

sunfeihu@mail.iee.ac.cn



