



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108225552 B

(45)授权公告日 2020.04.28

(21)申请号 201711414690.5

(22)申请日 2017.12.25

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 108225552 A

(43)申请公布日 2018.06.29

(73)专利权人 中国科学院电工研究所

地址 100190 北京市海淀区中关村北二条6号

(72)发明人 王楠 郭明焕 张喜良 王志峰

(74)专利代理机构 北京科迪生专利代理有限公司 11251

代理人 关玲

(51)Int.Cl.

G01J 1/00(2006.01)

G01M 11/02(2006.01)

(56)对比文件

CN 101303270 A,2008.11.12,

CN 103809610 A,2014.05.21,

US 7994459 B2,2011.08.09,

US 9482583 B1,2016.11.01,

审查员 邵文莉

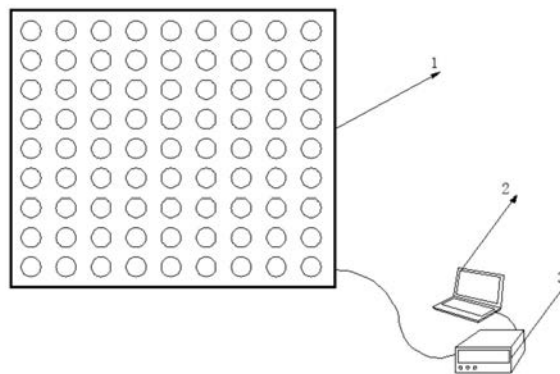
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

塔式电站定日镜场聚光能流密度分布测量方法

(57)摘要

一种塔式电站定日镜场聚光能流密度分布测量方法,步骤为:(1)计算不同时刻的白天的太阳和夜晚的月亮的位置角度,记录太阳和月亮位置角度相同时各自对应的时刻;(2)选取太阳和月亮位置角度相同时的白天和圆月夜、晴朗圆月夜,在塔式定日镜场太阳塔的吸热器上布置照度计阵列,测量聚光光斑的能流密度。对比月光测光站测得的月光法向直射照度,得到月光聚光光斑的相对能流密度,即聚光比函数;在与晴朗的圆月夜的位置角度相同的白天,用太阳测光站测得特定时刻的太阳法向直射辐照度,将此太阳法向直射辐照度与聚光比函数相乘,得到离散的塔式定日镜场对日聚光光斑的能流密度分布,再通过数据插值得到连续的日光聚光光斑能流密度分布。



1. 一种塔式电站定日镜场聚光能流密度分布测量方法,其特征在于:所述的测量方法利用夜间月光进行聚光实验;通过布置在太阳塔吸热器采光口平面上的照度计阵列,直接测量聚光后月光光斑的照度分布,转换得到定日镜场对日光聚光光斑能流密度分布;

所述的测量方法步骤如下:

(1) 计算不同时刻的白天的太阳和夜晚的月亮的位置角度:高度角和方位角,记录太阳和月亮位置角度相同时各自对应的时刻;

(2) 选取太阳和月亮位置角度相同时的白天和圆月夜、晴朗圆月夜,在塔式定日镜场开展对月聚光实验,在太阳塔的吸热器上布置照度计阵列,测量聚光后月光光斑的照度分布,将实验数据传送到PC机上,对比月光测光站测得的月光法向直射照度,得到月光聚光光斑的相对能流密度,即聚光比函数,该聚光比函数为离散值;

(3) 在与晴朗的圆月夜的位置角度相同的白天,用太阳测光站测得特定时刻的太阳法向直射辐照度,将此太阳法向直射辐照度与聚光比函数相乘,得到离散的塔式定日镜场对日聚光光斑的能流密度分布,再通过数据插值得到连续的日光聚光光斑能流密度分布。

2. 根据权利要求1所述的一种塔式电站定日镜场聚光能流密度分布测量方法,其特征在于:用密集布置的照度计测量月光聚光光斑的照度分布,对比用月光测光站上照度计测量的月光法向直射照度,得到对月聚光光斑相对能流密度分布;所述的月光聚光光斑的相对能流密度分布如下计算:

$$CR(x, y)_{\text{moon}} = I(x, y) / DNI_{\text{moon}} \quad (1)$$

其中, I 为光斑各处的照度,在吸热器采光口 xy 平面的离散位置采样, DNI_{moon} 为月光法向直射照度。

3. 根据权利要求2所述的一种塔式电站定日镜场聚光能流密度分布测量方法,其特征在于:月光聚光光斑的相对能流密度近似为日光聚光光斑的相对能流密度分布,即:

$$CR(x, y)_{\text{moon}} = CR(x, y)_{\text{sun}} \quad (2)$$

则日光聚光光斑离散点处的能流密度为:

$$F(x, y) = CR(x, y)_{\text{sun}} \cdot DNI_{\text{sun}} = CR(x, y)_{\text{moon}} \cdot DNI_{\text{sun}} \quad (3)$$

其中, $F(x, y)$ 为日光聚光光斑离散点处的能流密度, x 、 y 为光斑各处 xy 平面离散采样;

通过插值能够得到 xy 平面上连续的日光聚光光斑能流密度分布。

4. 根据权利要求1所述的一种塔式电站定日镜场聚光能流密度分布测量方法,其特征在于:测量过程需要在吸热器采光口临时安装照度计阵列,在地面安装主要由双轴月亮跟踪器和参考照度计组成的月光测光站,在地面安装或共享塔式电站主要由双轴太阳跟踪器和太阳直射辐射表组成的日光测光站。

塔式电站定日镜场聚光能流密度分布测量方法

技术领域

[0001] 本发明涉及塔式电站定日镜场聚光能流密度分布测量方法。

背景技术

[0002] 太阳能塔式发电是通过多台跟踪太阳的定日镜将太阳辐射反射至放置于塔上的吸热器,获得高温传热介质,高温传热流体直接或间接通过热力循环发电的系统。太阳能塔式电站主要包括定日镜、太阳塔、吸热器、储热器和发电机组等。太阳能塔式聚光具有以下特点:①聚光场中众多定日镜同时向塔顶吸热器聚光,在吸热器的采光口平面以及吸热面上形成高强度非均匀的聚光能流密度;②受太阳位置、太阳辐射强度和环境条件等变化因素的影响,能流密度分布随时间不断变化;③大尺寸采光面。

[0003] 在塔式太阳能热发电系统中,吸热器采光面上的聚光能流密度分布的测量对优化整个系统的光热性能有着重要意义。它不仅是评价定日镜场和吸热器性能的重要参数,而且可以优化各个定日镜在采光面的跟踪目标点、控制采光面上的能流密度分布,避免吸热器因温度过高而损坏。

[0004] 吸热器效率是指单位时间内,吸热器内传热介质获得的总能量与进入吸热器采光口的总能量之比。通过对吸热器表面入射的能流密度分布进行积分可得到进入吸热器采光口的总能量。吸热器中载热流体吸收的热能通过计算流体的流速、比热容及其在入口和出口的温差的乘积得到。因此通过测量能流密度可以评价吸热器的性能。

[0005] 吸热器表面的能流密度分布是唯一与定日镜场性能紧密相关的参数。聚光场效率是指单位时间经聚光场反射或透射进入吸热器采光口的太阳辐射能与入射至聚光场采光面积上总法向直射太阳辐射能之比。通过吸热器采光口的能流密度便可得到单位时间经聚光场反射或透射进入吸热器采光口的太阳辐射能,进而评价聚光场效率。通过比较用瞄准算法计算得到的能流密度与实际测得的能流密度,可以评价定日镜瞄准模型。通过找出能流峰值区域,可以评价定日镜的瞄准精度。对定日镜在采光面上的跟踪目标点进行调整,使采光面上的能流密度分布更为均匀,避免吸热器因局部温度过高而损坏。

[0006] 现有的太阳能热发电系统聚焦光斑能流密度测量的方法可分为三类:直接测量法、间接测量法及用实验数据作为支撑的仿真算法。直接测量法是直接使用能流探测器,如热流计测量接收面的能流密度,通过数据插值得到聚焦光斑的能流密度。间接测量法则使用摄影系统:CCD或CMOS相机、红外热像仪等,拍摄接收靶上的光斑图像,然后通过图像处理得到接收靶上的能流密度分布。仿真算法以实验数据作为依据,通过基于“蒙特卡罗”的光线追迹法、“锥体光学法”等计算出光斑的能流密度。

[0007] 直接测量法测量时间长、空间分辨率低;间接测量法需要的探测器数量较少,空间分辨率高,但使用相机拍摄和反射面的非朗伯特性会引入误差;用实验数据作为支撑的仿真算法,仿真结果精度主要取决于输入参数的质量,依赖于多种先验的实测结果,因此可用于聚光能流密度分布的辅助测量,但不能成为基础测量方法。

[0008] 而且,对兆瓦级以上的太阳能塔式热发电系统,吸热器的开口尺寸都在5米以上。

如目前世界上的第一个商业化太阳能塔式热发电站,位于西班牙塞维利亚的PS10,总功率为11MWe,塔顶的腔式吸热器的开口尺寸是11米宽11米高。要在大型吸热器的开口平面上安装热流分布测量装置尤为困难,须要经受高温、高热流密度和大尺寸的重力变形等的考验。现有的吸热器开口平面热流分布测量方法,无论是直接测量法,还是间接测量法,都不能满足需要。

[0009] 月球与太阳有相似的角直径,圆月与太阳相对于地面上观测点的张角约为0.5度,从地球上,太阳和月亮大小相同;圆月光束在地面上的法向直射辐射约为太阳的百万分之一;月光光斑能流密度分布近似为高斯分布。因此利用夜间月光进行先验聚光实验,可以获得定日镜场对日聚光光斑能流密度分布。

[0010] 美国桑迪亚实验室的Holmes等人在CRTF上进行圆月聚光实验。由于月球和太阳相对于地球有相同的角度,BCS目标靶上的月球图像的大小与太阳相似。5月7日08:18MST时当月球的位置等于太阳在的位置时,205面定日镜对月光进行聚光,将月光聚焦到BCS目标上,从而找出光斑的重心。并用月光聚焦的光斑图像来简单调整定日镜面,但并没有进行能流密度的测量,见文献“Heliostat operation at the Central-Receiver Test Facility (1978-1980) [J].”(Holmes J.T,Nasa Sti/recon Technical Report N,1982年第82卷第3期133-138)中的月光聚光实验。

[0011] 法国材料与太阳能实验室的Adrien Salomé'等人2009年在法国的THEMIS电站进行圆月夜晚的聚光实验,用CCD相机拍摄塔上漫反射白板的聚光光斑,对光斑图像进行处理与分析,然后与模拟得到的光斑图形进行对比,探索优化光斑能流密度分布的计算方法。参见文献“Control of the flux distribution on a solar tower receiver using an optimized aiming point strategy:Application to THEMIS solar tower[J].”(Salomé A,Chhel F,Flamant G等人,Solar Energy,2013年第94卷第4期352-366.)。

[0012] 澳大利亚国立大学分2009年利用圆月的聚光实验测得了500m²的大型抛物面碟式聚光镜的相对聚光能流密度分布,模拟值与实测值对比,得出镜面面型误差。参见文献“A new 500m² paraboloidal dish solar concentrator[J]”(Lovegrove K.,Burgess G.,Pye J,Solar Energy,2011年第85卷第四期,620-626)中的月光聚光实验。

[0013] 上述实验都是通过对月光进行聚光实验,利用“CCD相机”+“漫反射白板”的方式获得聚光后月光光斑的图像,用于测量镜面面型、调整定日镜镜面面型、验证聚光能流密度的计算方法,并没有测得定日镜场或其他聚光器对日的聚光能流密度分布。

[0014] 现有的3类塔式电站定日镜场聚光能流密度分布测量方法,都不能满足实际电站的测量需要,其他的已有“CCD相机”+“漫反射白板”的月光方式,也不能获得定日镜场对日聚光的聚光能流密度分布。

发明内容

[0015] 本发明的目的是为了克服上述现有塔式电站定日镜场聚光能流密度分布测量方法的不足,提出一种塔式电站定日镜场聚光能流密度分布测量方法。

[0016] 本发明利用夜间月光进行聚光实验。通过布置在太阳塔吸热器采光口平面上的照度计阵列,直接测量聚光后月光光斑的照度分布,转换得到定日镜场对日聚光光斑能流密度分布。本发明的聚光实验过程不影响定日镜场白天的工作运行,测量过程不影响吸热器

的正常工作。而且月光是冷光源,不需要高温防护,不需要复杂的冷却结构,避免了直接测量聚光后高强度能流密度太阳光斑的困难。

[0017] 本发明利用月球与太阳有相似的角直径的特点,圆月与太阳相对于地面上观测点的张角约为0.5度,从地球上,太阳和月亮大小相同;圆月光束在地面上的法向直射辐射约为太阳的百万分之一;月光光斑能流密度分布近似为高斯分布。因此利用夜间月光进行先验聚光实验,可以获得定日镜场对日聚光光斑能流密度分布。

[0018] 因此,假设:①太阳和月亮一致,除了形状和位置角度,光谱特性也一致,太阳能塔式电站定日镜场聚光在测试时刻采用相同的运行模式。②定日镜场对太阳光聚光和对月亮光聚光到目标平面上相对能流密度分布即聚光比函数相同。

[0019] 假设下的理想情况为:

[0020] 直接测得月光聚光光斑的相对能流密度分布,即聚光比函数:

$$[0021] \quad CR(x, y)_{\text{moon}} = I(x, y) / DNI_{\text{moon}} \quad (1.1)$$

[0022] 其中, I 为光斑各处的照度在 xy 平面的离散采样, DNI_{moon} 为月光法向直射照度, $CR(x, y)_{\text{moon}}$ 为月光聚光光斑的相对能流密度。

[0023] 根据上面的理想假设条件①和②,可得:

$$[0024] \quad CR(x, y)_{\text{moon}} = CR(x, y)_{\text{sun}} \quad (1.2)$$

[0025] 则日光聚光光斑离散点处的能流密度为:

$$[0026] \quad F(x, y) = CR(x, y)_{\text{sun}} \cdot DNI_{\text{sun}} = CR(x, y)_{\text{moon}} \cdot DNI_{\text{sun}} \quad (1.3)$$

[0027] 其中, $F(x, y)$ 为日光聚光光斑离散点处的能流密度, x, y 为光斑各处,在 xy 平面离散采样。

[0028] 通过插值可以得到连续的日光聚光光斑能流密度分布。上述的各个参数均为时间函数,随时间的变化而变化。

[0029] 本发明方法的步骤如下:

[0030] 1. 计算不同时刻的白天的太阳和夜晚的月亮的位置角度:高度角和方位角,记录太阳和月亮位置角度相同时各自对应的时刻。

[0031] 2. 选取太阳和月亮位置角度相同时的白天和圆月夜,晴朗圆月夜,在塔式定日镜场开展对月聚光实验,在太阳塔的吸热器上布置照度计阵列,测量聚光光斑的能流密度,将实验数据传送到PC机上,对比月光测光站测得的月光法向直射照度,得到月光聚光光斑的相对能流密度,即聚光比函数,该聚光比函数为离散值。

[0032] 在与晴朗的圆月夜的位置角度相同的白天,用太阳测光站测得特定时刻的太阳法向直射辐照度,将此太阳法向直射辐照度与聚光比函数相乘,得到离散的塔式定日镜场对日聚光光斑的能流密度分布。再通过数据插值得到连续的日光聚光光斑能流密度分布。

[0033] 本发明具有以下特点:

[0034] 第一、本发明所述的能流密度分布测量方法是利用夜间月光进行先验聚光实验,转换得到定日镜场对日聚光光斑能流密度分布,实验过程不影响定日镜场白天的工作运行;

[0035] 第二、本发明所述的能流密度测量方法测量过程不影响吸热器的正常工作;

[0036] 第三、本发明所述的热流密度测量方法中月光是冷光源,不需要高温防护,不需要复杂的冷却结构,避免了大面积和直接测量中央高强度能流密度的困难;

[0037] 第四、本发明所述的聚光能流密度测量方法,不涉及传统CCD相机、漫反射白板或漫反射白板上安装的水冷热流密度传感器;测量过程需要在吸热器采光口临时安装照度计阵列,在地面安装主要由双轴月亮跟踪器和参考照度计组成的月光测光站,在地面安装或共享塔式电站已有的主要由双轴太阳跟踪器和太阳直射辐射表组成的日光测光站。

附图说明

[0038] 图1是吸热器采光口聚光能流密度分布的测量装置,图中:1照度计阵列、2PC机、3数据采集仪;

[0039] 图2是月光测光站,图中:4参考照度计、5双轴月亮跟踪器;

[0040] 图3是安装有照度计阵列的塔式定日镜场示意图,图中:6腔体式吸热器、7太阳塔、8定日镜场、1照度计阵列。

具体实施方式

[0041] 下面结合附图和具体实施方式对本发明做进一步说明。

[0042] 本发明的实施例如下:

[0043] 安装如图2所示的月光测光站用于测量月光的法向直射照度,其中双轴月亮跟踪器5跟踪月亮,用支架固定在在双轴月亮跟踪器上的参考照度计4测量月光的法向直射照度,在地面安装或共享塔式电站已有的主要由双轴太阳跟踪器和太阳直射辐射表组成的日光测光站。测量步骤如下:

[0044] 1、计算白天不同时刻的太阳位置角度:高度角和方位角,以及夜晚不同时刻的月亮位置角度:高度角和方位角,记录太阳和月亮位置角度相同时各自对应的时刻。

[0045] 2、选取太阳和月亮位置角度相同时的白天和圆月夜,譬如2017年5月2日23点18分的月亮,和5月5日17点25分的太阳,二者的方位角均为275.6度,高度角均为18.6度。晴朗圆月夜,在如图3所示的在塔式定日镜场开展对月聚光实验,在太阳塔7的腔体式吸热器6上布置照度计阵列1,月光经实时跟踪月亮的定日镜场8中的定日镜反射后,投入到安装在吸热器上的照度计阵列1中。接下来如图1所示,照度计阵列1测量各个采样点的光照度值,通过数据采集仪3将实验数据传送到PC机2上,对比月光测光站的参考照度计4测得的月光法向直射照度,得到月光聚光光斑的相对能流密度,即聚光比函数,该聚光比函数为离散值。照度计阵列为9*9布置,共得到81个离散值。

[0046] 3、在与晴朗圆月夜的月亮位置角度相同的白天,用太阳测光站测得特定时刻的太阳法向直射辐照度,与聚光比函数相乘,最终测量结果为:得到塔式定日镜场对日聚光光斑离散的能流密度分布,再通过数据插值得到连续的日光聚光光斑能流密度分布。所采用的插值方法为分段双线性插值:照度计阵列有9行9列, $F(x, y)$ 为日光聚光光斑离散点处的能流密度, x, y 为光斑各处 xy 平面离散采样,任意选取相邻的四个点,分别为 (x_i, y_j) 、 (x_i, y_{j+1}) 、 (x_{i+1}, y_j) 、 (x_{i+1}, y_{j+1}) ,各自对应的日光聚光光斑离散点出的能流密度值分别为 $F(x_i, y_j)$ 、 $F(x_i, y_{j+1})$ 、 $F(x_{i+1}, y_j)$ 、 $F(x_{i+1}, y_{j+1})$,则这四个点所构成的区域中任意一点 (x, y) 的能流密度值为:

[0047]
$$F(x, y) = F(x_i, y_j) (x_{i+1} - x) (y_{i+1} - y) + F(x_{i+1}, y_j) (x - x_i) (y_{i+1} - y) + F(x_i, y_{j+1}) (x_{i+1} - x) (y - y_j) + F(x_{i+1}, y_{j+1}) (x - x_i) (y - y_j)$$

[0048] $y_{j+1} (x-x_i) (y-y_i) / ((x_{i+1}-x_i) (y_{i+1}-y_i))$ (1.4)

[0049] 不断执行公式(1.4),可以得到连续的日光聚光光斑能流密度分布。

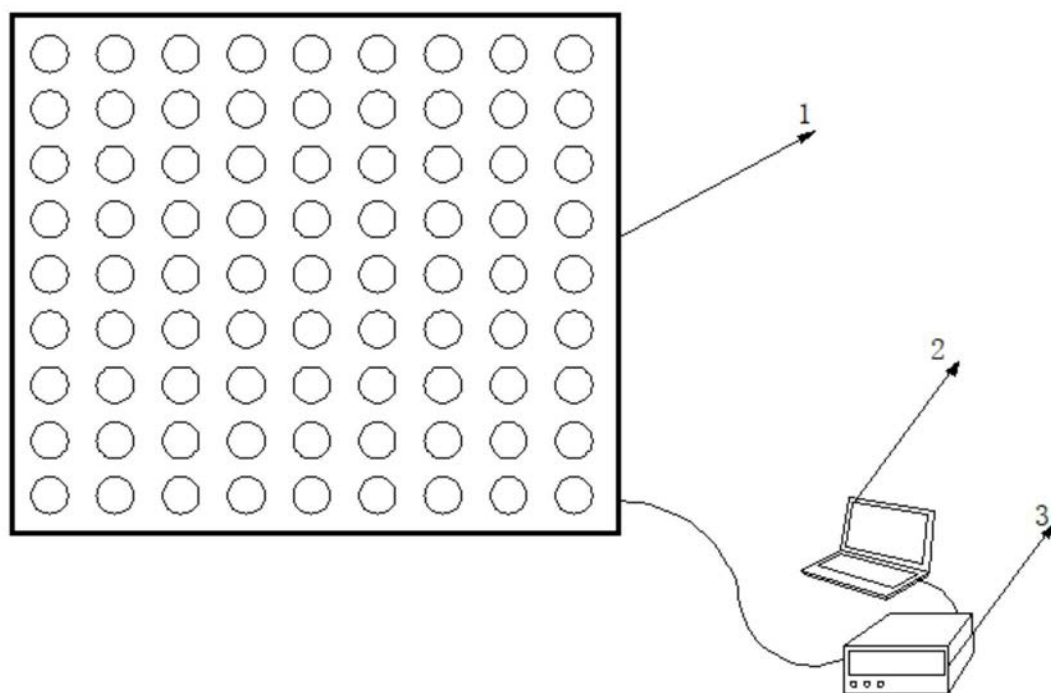


图1

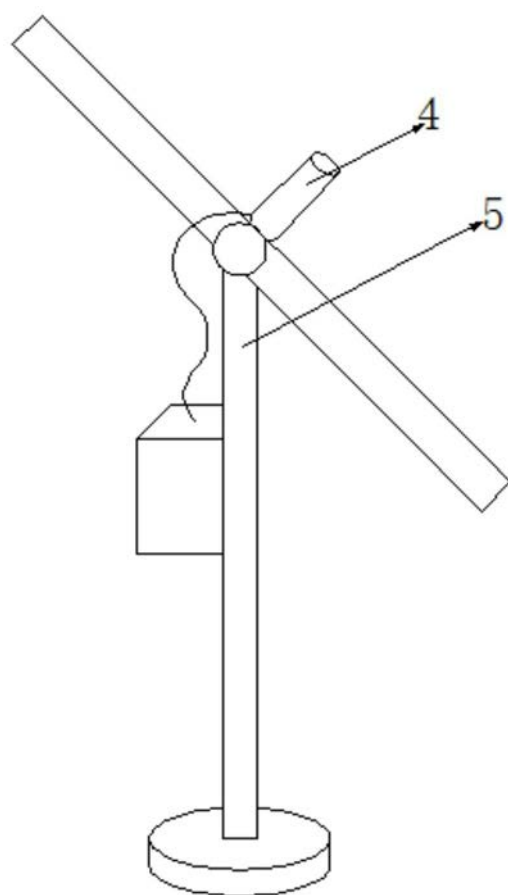


图2

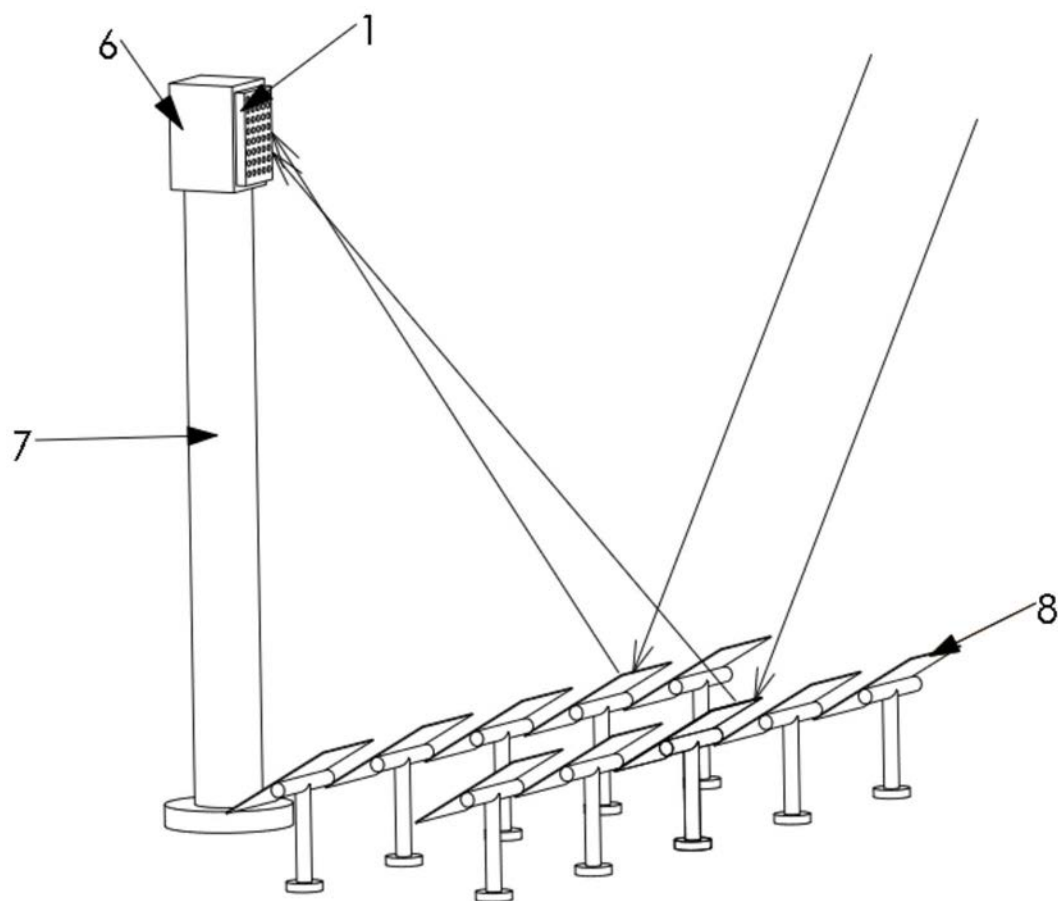


图3