



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102252826 A

(43) 申请公布日 2011. 11. 23

(21) 申请号 201110095498. 0

(22) 申请日 2011. 04. 15

(71) 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路  
3888 号

(72) 发明人 赵会富 刘华 卢振武 荆雷

(74) 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所 22210

代理人 南小平

(51) Int. Cl.

G01M 11/02(2006. 01)

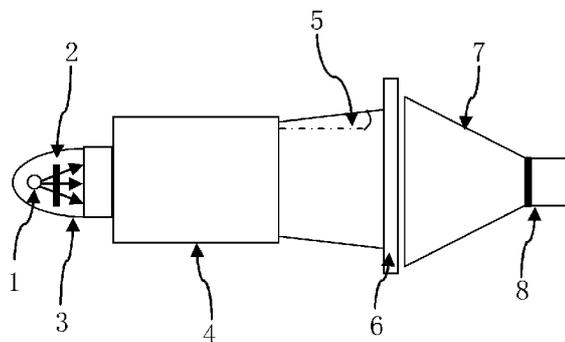
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 2 页

## (54) 发明名称

高平行度大口径聚光系统聚光效率的测试装置及方法

## (57) 摘要

本发明高平行度大口径聚光系统聚光效率的测试装置及测试方法属于聚光光伏系统测试领域,该测试装置包括光源(1)、滤光片(2)、反光罩(3)、平行光管(4)、光栏(6)和探测器(8),光源(1)和滤光片(2)位于反光罩(3)内,光源(1)、滤光片(2)、平行光管(4)、光栏(6)和探测器(8)共轴依次放置,光源(1)发出的光线经过滤光片(2)后变成准单色光,通过调节平行光管(4)使该准单色光的发散角(5)与太阳光的发散角匹配,透过光栏(6)的光线经聚光系统(7)汇聚后被探测器(8)接收。本发明能够实现高平行度、145mm 大口径聚光系统的性能测试,结构简单,成本低。



1. 高平行度大口径聚光系统聚光效率的测试装置,其特征在于,该测试装置包括光源(1)、滤光片(2)、反光罩(3)、平行光管(4)、光栏(6)和探测器(8),光源(1)和滤光片(2)位于反光罩(3)内,光源(1)、滤光片(2)、平行光管(4)、光栏(6)和探测器(8)共轴依次放置,光源(1)发出的光线经过滤光片(2)后变成准单色光,通过调节平行光管(4)使该准单色光的发散角(5)与太阳光的发散角匹配,透过光栏(6)的光线经聚光系统(7)汇聚后被探测器(8)接收。

2. 如权利要求1所述的高平行度大口径聚光系统聚光效率的测试装置,其特征在于,所述准单色光的发散角(5)为 $0.267^{\circ}$ 。

3. 如权利要求1所述的高平行度大口径聚光系统聚光效率的测试装置,其特征在于,所述光栏(6)在水平方向和垂直方向各有一排圆孔,圆孔直径为8mm,其间距为20mm。

4. 基于权利要求1-3中任一项所述的高平行度大口径聚光系统聚光效率的测试装置的测试方法,其特征在于,该测试方法包括如下步骤:

第一步:选取宽光谱光源(1)和多个窄带滤光片(2);

第二步:光源(1)设置在窄带滤光片(2)的前面,光源(1)发出的光线经过滤光片(2)之后变成单色光,使单色光通过平行光管(4)调准直,调节平行光管(4)使出射光线的发散角(5)与太阳光的发散角匹配;

第三步:将光栏(6)放置在平行光管(4)后,光栏(6)在水平方向和垂直方向各设有一排圆孔,每次测量只开一个圆孔;将聚光系统(7)放置在光栏(6)后面,将探测器(8)放置在聚光系统(7)的焦距处,并使聚光系统(7)光漏斗的底端紧贴探测器(8);用探测器(8)采集经聚光系统(7)汇聚的光斑的图像信息;

第四步:利用探测器(8)分别测量透过上述每个圆孔的光功率,保持光源(1)和聚光系统(7)位置不动,把探测器(8)移到聚光系统(7)之后的指定位置和焦斑位置,利用探测器(8)分别测量透过聚光系统(7)的能量和透过每个圆孔汇聚的能量,得到透过聚光系统(7)的能量和焦斑位置处汇聚的能量,再通过公式计算出聚光系统(7)的局部透过率和局部聚光效率;

第五步:根据第四步得到的聚光系统(7)的局部透过率、局部聚光效率以及局部测量面积在聚光系统整体面积中所占的比重,计算聚光系统(7)的透过率平均值和聚光效率平均值;

第六步:利用上述步骤,测量分析聚光系统(7)对由光源(1)与窄带滤光片(2)组合而得的其它单色光源的聚光效率;

第七步:通过各种单色光在整个太阳光谱中所占的权重与单色光聚光效率平均值的乘积,计算得到聚光系统(7)对整体光谱光源的加权平均聚光效率,进而完成高平行度大口径聚光系统聚光效率的测试方法。

5. 如权利要求4所述的高平行度大口径聚光系统聚光效率的测试方法,其特征在于,所述第一步中的宽光谱光源(1)为氙灯或镝灯。

6. 如权利要求4所述的高平行度大口径聚光系统聚光效率的测试方法,其特征在于,所述第二步中出射光线的发散角为 $0.267^{\circ}$ 。

7. 如权利要求4所述的高平行度大口径聚光系统聚光效率的测试方法,其特征在于,所述第四步中把探测器(8)移到聚光系统(7)之后的指定位置为距离聚光系统(7)10mm的位置。

## 高平行度大口径聚光系统聚光效率的测试装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于聚光光伏系统测试领域,涉及太阳能光伏聚光系统的测试技术,特别涉及一种基于非成像理论的高倍聚光、高能量传递效率、高平行度、大口径的光伏聚光系统聚光效率的测试装置及方法。

### 背景技术

[0002] 太阳能是储量最大,能量分布最广的可再生清洁能源,其主要应用是光伏发电,目前发电成本过高未充分进入市场。降低光伏发电成本的最有效途径是采用廉价的光学聚光元件将大量光线会聚到很小的聚光电池上,提高聚光效率、减少电池材料、降低成本。菲涅耳聚光镜体积小、重量轻、价格低廉,能够使光学系统实现微型化、集成化以及经济化,在太阳能和照明领域得到了广泛应用。

[0003] 聚光系统的性能检测至关重要,它能评价其性能优良并能根据检测结果为设计和加工提供信息反馈,指引设计和加工制作的改进方向。目前,聚光系统的测试方法主要有室外太阳光测试和室内太阳模拟器测试两种方法。室外测试太阳光虽然具有较为理想的光谱和光强分布,但受外界环境影响,很难对聚光系统精准测量。室内太阳模拟器测试采用太阳模拟器为光源,目前国内外已经有 3A 级太阳模拟器,主要应用于太阳能电池检测、生态、老化试验等,但太阳模拟器的结构复杂、成本过高,并且其出光角度比较大(一般为  $6^{\circ} \sim 10^{\circ}$ ),不适合角度较小(一般为  $1^{\circ} \sim 2^{\circ}$ )的聚光系统。

### 发明内容

[0004] 针对现有太阳模拟器在聚光系统测试方面的不足,本发明的目的是提供一种室内的高平行度大口径聚光系统聚光效率的测试装置及方法,其是利用宽光谱光源和窄带滤光片组合作为光源,设计搭建室内聚光系统的测试装置代替现有的室外太阳光光伏聚光测试系统进行聚光实验测量,从而可以弥补由于天气、环境变化而引起的室外太阳光聚光实验测量的不便性和不稳定性。

[0005] 为了实现上述目的,本发明的技术方案如下:

[0006] 高平行度大口径聚光系统聚光效率的测试装置,包括光源、滤光片、反光罩、平行光管、光栏和探测器,光源和滤光片位于反光罩内,光源、滤光片、平行光管、光栏和探测器共轴依次放置,光源发出的光线经过滤光片后变成准单色光,通过调节平行光管使该准单色光的发散角与太阳光的发散角匹配,透过光栏的光线经聚光系统汇聚后被探测器接收。

[0007] 高平行度大口径聚光系统聚光效率的测试方法,包括如下步骤:

[0008] 第一步:选取宽光谱光源和多个窄带滤光片;

[0009] 第二步:光源设置在窄带滤光片的前面,光源发出的光线经过滤光片之后变成单色光,使单色光通过平行光管调准直,调节平行光管使出射光线的发散角与太阳光的发散角匹配;

[0010] 第三步:将光栏放置在平行光管后,光栏在水平方向和垂直方向各设有一排圆孔,

每次测量只开一个圆孔；将聚光系统放置在光栏后面，将探测器放置在聚光系统的焦距处，并使聚光系统光漏斗的底端紧贴探测器；用探测器采集经聚光系统汇聚的光斑的图像信息；

[0011] 第四步：利用探测器分别测量透过上述每个圆孔的光功率，保持光源和聚光系统位置不动，把探测器移到聚光系统之后的指定位置和焦斑位置，利用探测器分别测量透过聚光系统的能量和透过每个圆孔汇聚的能量，得到透过聚光系统的能量和焦斑位置处汇聚的能量，再通过公式计算出聚光系统的局部透过率和局部聚光效率；

[0012] 第五步：根据第四步得到的聚光系统的局部透过率、局部聚光效率以及局部测量面积在聚光系统整体面积中所占的比重，计算聚光系统的透过率平均值和聚光效率平均值；

[0013] 第六步：利用上述步骤，测量分析聚光系统对由光源与窄带滤光片组合而得的其它单色光源的聚光效率；

[0014] 第七步：通过各种单色光在整个太阳光谱中所占的权重与单色光聚光效率平均值的乘积，计算得到聚光系统对整体光谱光源的加权平均聚光效率，进而完成高平行度大口径聚光系统聚光效率的测试方法。

[0015] 本发明采用分立光谱局部测量法测试聚光系统的性能，太阳光谱大部分能量集中在 350nm-1850nm 光谱范围内，挑选宽光谱光源和窄带滤光片产生各种单色光，单色光的波长分散在 350nm-1850nm 范围内，采用分立单色光测量聚光系统的局部聚光效率，利用局部聚光效率与其所处的位置计算单色光的平均效率。各种单色光在太阳光谱中的归一化权重与单色光平均聚光效率的乘积的叠加之和即为聚光系统对太阳光的聚光效率。被测量的聚光系统前放置一光栏，光栏在水平方向和垂直方向各有一排圆孔，圆孔直径和间距越小，聚光镜局部测量越精确。局部测量法能够检验聚光系统的局部加工误差和制作质量。根据测试结果对设计和加工提供信息反馈，以便改进设计方案和加工工艺，以提高聚光系统的聚光效率为宗旨。

[0016] 本发明的有益效果如下：

[0017] 1、本发明可以获得与太阳光发散角相同的测试光线，其发散角为  $0.267^\circ$ ，这意味着在室内可以模拟高平行度的太阳光测试聚光系统的性能，室内聚光测试避免了室外测试因外界环境对聚光测试的影响。

[0018] 2、本发明聚光测试装置的出光口径为 145mm，可以实现大口径的聚光系统和聚光系统模组进行测试。

[0019] 3、本发明聚光测试装置采用聚光系统局部测量法，可以实现对聚光系统的局部测量，局部测量法需要测试聚光系统的局部聚光效率和局部透过率，能够检验聚光系统的局部加工误差和制作质量，可以根据测试结果对设计和加工提供信息反馈以便提高聚光效率。

[0020] 4、本发明聚光测试装置结构简单、成本低，在太阳能聚光光伏领域有广阔的应用前景。

[0021] 5、本发明的聚光系统是基于非成像光学原理设计，非成像聚光光伏系统没有固定的焦点，不考虑像差，不要求成像质量，只要求聚光效率和聚光光斑分布，这降低了聚光测试装置装校难度。

## 附图说明

- [0022] 图 1 是本发明高平行度大口径聚光系统聚光效率的测试装置结构示意图。  
 [0023] 图 2 是本发明调节平行光管出射光线的发散角的原理图。  
 [0024] 图 3 是本发明测量几何聚光比和聚光效率的原理图。  
 [0025] 图 4 是本发明的光阑结构示意图。  
 [0026] 图 5 是本发明高平行度大口径聚光系统聚光效率的测试方法流程图。

## 具体实施方式

[0027] 下面结合附图和实施例对本发明做进一步详细说明。

[0028] 如图 1 所述,本发明的高平行度大口径聚光系统聚光效率的测试装置包括:光源 1、滤光片 2、反光罩 3、平行光管 4、光阑 6 和探测器 8,光源 1 和滤光片 2 位于反光罩 3 内,光源 1、滤光片 2、平行光管 4、光阑 6 和探测器 8 共轴依次放置,光源 1 发出的光线经过滤光片 2 后变成准单色光,通过调节平行光管 4 使该准单色光的发散角 5 与太阳光的发散角匹配,透过光阑 6 的光线经聚光系统 7 汇聚后被探测器 8 接收。

[0029] 本发明的聚光测试装置出射光线的发散角可以达到  $0.267^\circ$ ,与太阳光的发散角相匹配,测试口径可达 145mm。本发明聚光测试装置的理论基础是非成像理论,即要使入射光束的能量最大程度地传输到接收端,必须保证入射光束的光学扩展量  $E_i$  与出射光束的光学扩展量  $E_o$  相等,亦即  $E_i = E_o$ 。根据边缘光线原理,在设计过程中只需要考虑边缘光线,这使得设计过程大大简化。

[0030] 如图 3 所示,非成像中计算聚光比的公式如下:

$$[0031] \quad c_g = S_1/S_2 \quad (1)$$

$$[0032] \quad \eta = \Phi_2/\Phi_1 \quad (2)$$

$$[0033] \quad C_o = \frac{\phi_2/S_2}{\phi_1/S_1} = C_g * \eta \quad (3)$$

[0034] 公式 (1) 为几何聚光比的定义式:几何聚光比  $C_g$  定义为聚光系统入射口径的面积  $S_1$  和出射口径的面积  $S_2$  的比值;公式 (2) 为聚光效率的定义式:聚光效率  $\eta$  为出射口径处的光功率  $\Phi_2$  与入射口径处光功率  $\Phi_1$  的比值;公式 (3) 为光学聚光比的定义式:几何聚光比  $C_g$  和聚光效率  $\eta$  的乘积为光学聚光比  $C_o$ 。

[0035] 如图 2 至图 5 所示,本发明的高平行度大口径聚光系统聚光效率的测试方法如下:

[0036] 第一步:选取宽光谱光源(如氙灯或镨灯)1 和多个窄带滤光片 2;

[0037] 第二步:在光源 1 后面设置窄带滤光片 2,滤光片 2 的半高宽为 5nm,光源 1 发出的光线经过滤光片 2 之后变成单色光,光线的发散角  $\theta$  很大,使光线通过平行光管 4 调准直,调节平行光管 4 使出射光线的发散角  $\theta$  为  $0.267^\circ$ ,如图 2 所示,根据公式  $\tan \theta = b/a$  即可求出发散角  $\theta$ ,式中,  $b$  为光斑半径,  $a$  为光线通光孔 9 到发散光斑 11 的距离;

[0038] 第三步:将光阑 6 放置在平行光管 4 后,光阑 6 在水平方向和垂直方向各设有一排圆孔,圆孔直径为 4mm,孔间距为 20mm,圆孔直径和孔间距越小,聚光系统 7 的菲涅耳聚光镜局部测量越精确;每次只开一个圆孔,其他圆孔都关闭,这样可以减小位置偏移引起的测量误差;将聚光系统 7 设置在光阑 6 后面的 15mm 处,探测器 8 设置在聚光系统 7 的焦距处,用

来测量聚光光斑的能量,并使起二次聚光和匀光作用的光漏斗的底端紧贴探测器 8,以免光能外泄;用探测器 8 采集经聚光系统 7 汇聚的光斑的图像信息;

[0039] 第四步:利用探测器 8 分别测量透过上述每个圆孔的光功率  $E_i$ ,保持光源 1 和聚光系统 7 位置不动,把探测器 8 移到聚光系统 7 后面的 10mm 位置和焦斑位置,利用探测器 8 分别测量透过聚光系统 7 的能量和透过每个圆孔汇聚的能量,得到透过聚光系统 7 的能量  $E_o$  和焦斑位置处汇聚的能量  $E_F$ ,再通过公式 (4)、公式 (5) 计算出聚光系统 7 的局部透过率  $t_i$  和局部聚光效率  $\eta_i$ :

$$[0040] \quad t_i = E_o/E_i \quad (4)$$

[0041] 局部聚光效率  $\eta_i$  为:

$$[0042] \quad \eta_i = E_F/E_i \quad (5)$$

[0043] 第五步:根据局部透过率  $t_i$ 、局部聚光效率  $\eta_i$  以及局部测量面积在聚光系统整体面积中所占的比重,计算单色光透过率平均值  $T$  和单色光聚光效率平均值  $\eta_s$ :

$$[0044] \quad T = \sum_{i=1}^4 t_i * \pi(r_{i+1}^2 - r_i^2) / S \quad (6)$$

$$[0045] \quad \eta_s = \sum_{i=1}^4 \eta_i * \pi(r_{i+1}^2 - r_i^2) / S \quad (7)$$

[0046] 式中, $t_i$  为以  $r_{i+1}$  为外半径以  $r_i$  为内半径的圆环内局部透过率平均值, $\eta_i$  为以  $r_{i+1}$  为外半径以  $r_i$  为内半径的圆环内局部聚光效率平均值; $S$  为出光口径在光栏 6 上的投影面积; $r_i$  为各圆环的半径;

[0047] 第六步:利用上述同样的方法及步骤测量分析其它单色光源(光源 1 与窄带滤光片 2 组合而得)的聚光效率;

[0048] 第七步:根据各单色光在整个太阳光谱中所占的权重  $w_s$  与单色光的效率平均值  $\eta_s$  的乘积得到整体光谱的聚光效率  $\eta$  如下式:

$$[0049] \quad \eta = \sum_s \eta_s * w_s \quad (8)$$

[0050] 根据公式 (3) 和公式 (8) 计算,得到聚光系统 7 的光学聚光比,进而完成高平行度大口径聚光系统聚光效率的测试方法。

[0051] 将实验测量的聚光效率与理论聚光效率对比,分析其差异主要来源,根据实验测试分析结果对聚光系统的设计和加工制作做进一步的指导,可以提高聚光系统的聚光效率和太阳能电池的光电转换效率。

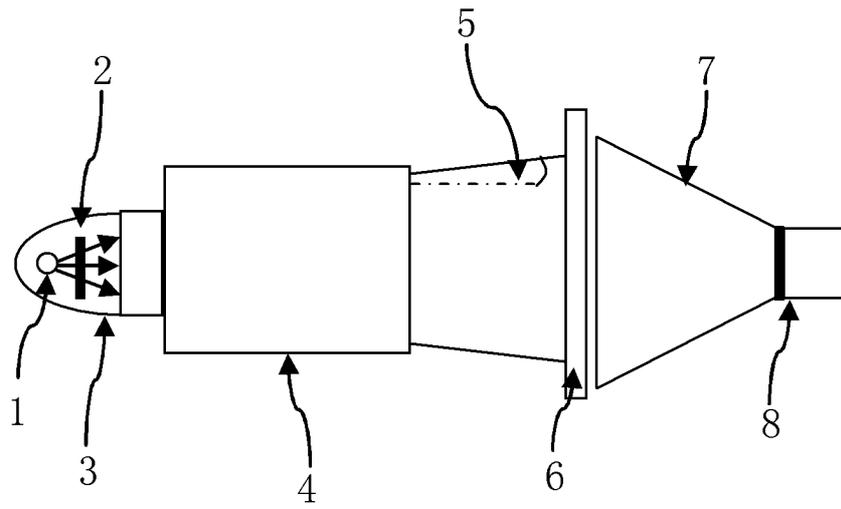


图 1

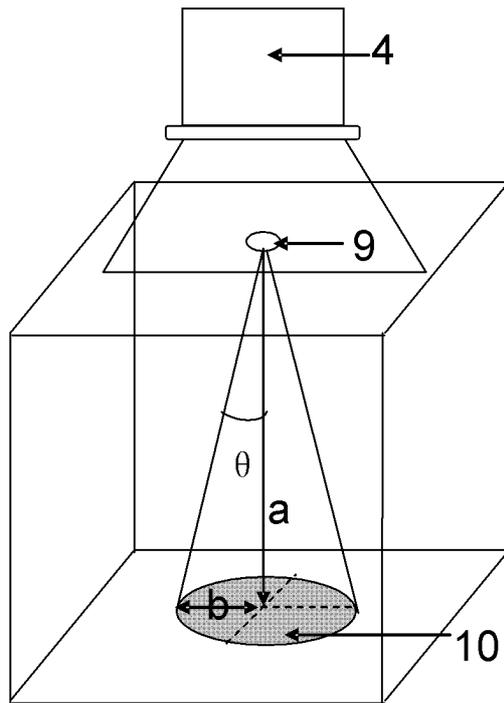


图 2

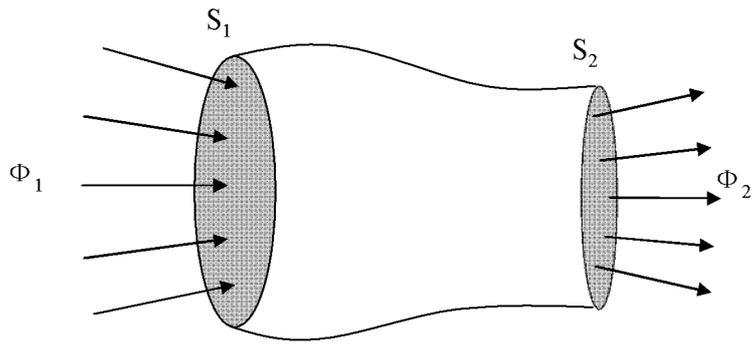


图 3

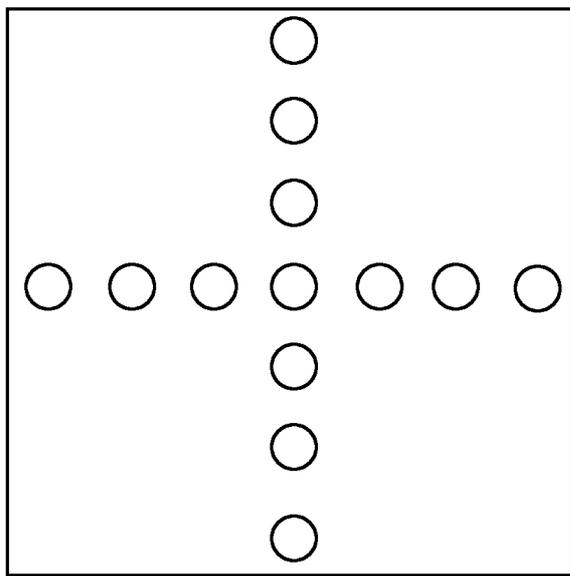


图 4

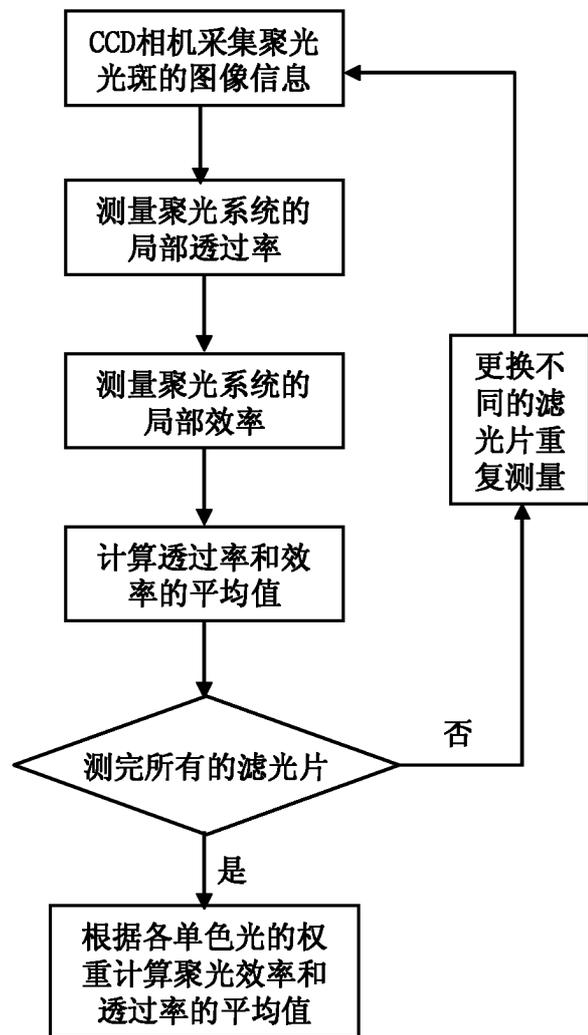


图 5