



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107024007 B

(45)授权公告日 2019.09.24

(21)申请号 201710426947.2

F24S 10/70(2018.01)

(22)申请日 2017.06.08

F24S 10/40(2018.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107024007 A

(43)申请公布日 2017.08.08

(73)专利权人 华中科技大学

地址 430074 湖北省武汉市洪山区珞喻路
1037号

(72)发明人 李建兰 林鹏嵩 吴至易 陈博

(74)专利代理机构 华中科技大学专利中心

42201

代理人 周磊 曹葆青

(51)Int.Cl.

F24S 23/30(2018.01)

F24S 23/70(2018.01)

(56)对比文件

CN 102590903 A,2012.07.18,

CN 104406312 A,2015.03.11,说明书第

[0024]-[0029]段,说明书附图1-5.

CN 1519517 A,2004.08.11,

CN 101377357 A,2009.03.04,

DE 202006001083 U1,2006.12.28,

EP 0020153 A1,1980.12.10,

DE 2947584 A1,1980.06.04,

李望等.分布式焦点法线聚焦菲涅耳聚光器
设计及性能分析.《红外与激光工程》.2010,第39
卷(第4期),722-724.

审查员 陈苏苏

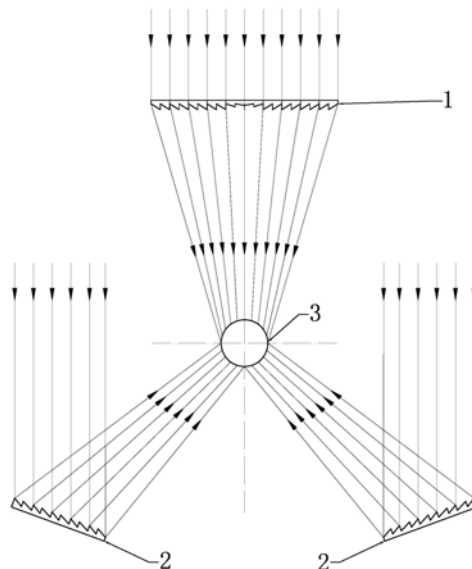
权利要求书3页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

基于非成像光学分区多焦点的菲涅耳光热
聚光结构和方法

(57)摘要

本发明属于聚光技术领域,并公开了基于非
成像光学分区多焦点的菲涅耳光热聚光结构
和方法,其聚光结构包括共同配合对集热管
的设定区域段外表面进行加热的菲涅耳透
镜和两块线性菲涅耳反射镜;其方法包括
菲涅耳透镜和两块线性菲涅耳反射镜布
置、区域划分、焦点划分,边缘光线对
应,菲涅耳式太阳能聚光装置的几何参
数的设计。本发明对光学系统及集热目
标进行区域划分和焦点对应,使光线经
过透镜、反射镜能够均匀的到达集热目
标上,使集热目标表面热流密度均匀。
本发明使每个划分区域的热流密度相等,
当区域数量达到要求时,即可以保证在
整个真空集热管表面的热流密度均匀,
减小集热管的热应力和变形,从而提高
聚热效率和加热的安全性。



1. 基于非成像光学分区多焦点的菲涅尔光热聚光结构, 其特征在于, 包括菲涅尔透镜和两块线性菲涅尔反射镜, 其中,

菲涅尔透镜和两块线性菲涅尔反射镜用于共同配合对集热管的设定区域段的外表面进行加热, 并且该区域段的外表面由弧度为 π 的上半弧面、弧度为 $\pi/2$ 的下左弧面和弧度为 $\pi/2$ 的下右弧面组成;

所述菲涅尔透镜水平设置并且其左半部分和右半部分左右对称, 该菲涅尔透镜用于将竖直入射的光线透射到其下方的所述上半弧面上进行加热;

两块所述线性菲涅尔反射镜左右对称设置并且结构相同, 两者均位于所述菲涅尔透镜的下方, 左方的线性菲涅尔反射镜用于将竖直入射的光线反射到其右方的所述下左弧面上进行加热; 右方的线性菲涅尔反射镜用于将竖直入射的光线反射到其左方的下右弧面上进行加热;

将菲涅尔透镜沿镜宽方向均分为 $2N$ 个区域, 将所述上半弧面也对应均分为 $2N$ 个区域, 按从左至右的顺序将菲涅尔透镜上的 $2N+1$ 个点与上半弧面的 $2N+1$ 个点一一对应;

将右方的线性菲涅尔反射镜沿镜宽方向均分为 N 个区域, 将集热管左半弧面也对应均分为 N 个区域, 按从左至右的顺序将右方的线性菲涅尔反射镜的 $N+1$ 个点与下左弧面的 $N+1$ 个点一一对应;

其中, 菲涅尔透镜的镜宽为 B_1 , 每块线性菲涅尔反射镜的镜宽均为 B_2 , $B_1/N > 1\text{mm}$, $B_2/N > 1\text{mm}$, 并且 $N \geq 3$, 将以保证所述上半弧面、下左弧面和下右弧面上的热流分别均匀分布且上述三个弧面上的热流密度相等;

所述菲涅尔透镜右半部分的每个区域具有一个齿, 则右半部分具有 N 个齿, 并且每个齿的齿宽均为 d , 将右半部分的 N 个齿按从左至右的顺序编号, 令第 i 个齿的顶角为 α_i , 齿高为 h_i , 折射率为 n , 光线透过第 i 个齿的偏转角度为 u_i , 其中 $i = 1, 2, 3, \dots, N$, 则相应地, 每个齿的边缘点按从左至右的顺序依次记为 $A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_{N+1}$, 记 A_i 点的位置坐标为 (X_{A_i}, Y_{A_i}) , 相应地, 真空集热管上的点分别编号 $B_1, B_2, \dots, B_i, \dots, B_{N+1}$, 记 B_i 点的位置坐标为 (X_{B_i}, Y_{B_i}) ,

$u_i = \arctan \frac{|Y_{A_i} - Y_{B_i}|}{|X_{A_i} - X_{B_i}|}$, 则所述菲涅尔透镜的第 i 个齿的顶角 α_i 和齿高 h_i 如下:

$$\alpha_i = \arctan \frac{\sin u_i}{n - \cos u_i};$$

$$h_i = d \cdot \tan \alpha_i;$$

右方的线性菲涅尔反射镜相对于水平面的倾角为 γ , 该线性菲涅尔反射镜每个区域具有一个齿, 则其共具有 N 个齿, 其每个齿的齿宽均为 b , 并且 $b = \frac{d}{\cos \gamma}$, 其中 d 为菲涅尔透镜上每个齿的齿宽; 将该线性菲涅尔反射镜的 N 个齿按从左至右的顺序编号, 令第 j 个齿的顶角为 β_j , 齿高为 H_j , 每个齿的边缘点按从左至右的顺序依次记为 $P_1, P_2, \dots, P_j, \dots, P_{N+1}$, 并且 P_j 点的位置坐标为 (X_{P_j}, Y_{P_j}) , 相应地, 真空集热管上的点分别为 $Q_1, Q_2, \dots, Q_j, \dots, Q_{N+1}$, 并且 Q_j 点的位置坐标为 (X_{Q_j}, Y_{Q_j}) , 其中 $j = 1, 2, 3, \dots, N$, 则线性菲涅尔反射镜第 j 个齿的顶角 β_j 和齿高 H_j 为:

$$\beta_j = \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} \arctan \frac{|Y_{P_j} - Y_{Q_j}|}{|X_{P_j} - X_{Q_j}|} - \gamma;$$

$$H_j = b \cdot \tan \beta_j。$$

2. 基于非成像光学分区多焦点的菲涅尔光热聚光方法, 其特征在于, 包括以下步骤:

1) 布置菲涅尔透镜、集热管和两块线性菲涅尔反射镜: 将菲涅尔透镜水平设置于集热管的上方, 两块线性菲涅尔反射镜分别置于集热管的左方和右方并且两者左右对称设置, 以使菲涅尔透镜透射的光线和两块线性菲涅尔反射镜反射的光线共同配合照射到集热管的设定区域段的外表面进行加热, 并且该区域段的外表面由弧度为 π 的上半弧面、弧度为 $\pi/2$ 的下左弧面和弧度为 $\pi/2$ 的下右弧面组成; 其中, 所述菲涅尔透镜的左半部分和右半部分左右对称;

2) 将菲涅尔透镜沿镜宽方向均分为 $2N$ 个区域, 将所述上半弧面也对应均分为 $2N$ 个区域, 按从左至右的顺序将菲涅尔透镜上的 $2N+1$ 个点与上半弧面的 $2N+1$ 个点一一对应;

将右方的线性菲涅尔反射镜沿镜宽方向均分为 N 个区域, 将集热管左半弧面也对应均分为 N 个区域, 按从左至右的顺序将右方的线性菲涅尔反射镜的 $N+1$ 个点与下左弧面的 $N+1$ 个点一一对应;

其中, 菲涅尔透镜的镜宽为 B_1 , 每块线性菲涅尔反射镜的镜宽均为 B_2 , $B_1/N > 1\text{mm}$, $B_2/N > 1\text{mm}$, 并且 $N \geq 3$, 将以保证所述上半弧面、下左弧面和下右弧面上的热流分别均匀分布且上述三个弧面上的热流密度相等;

所述菲涅尔透镜右半部分的每个区域具有一个齿, 则右半部分具有 N 个齿, 并且每个齿的齿宽均为 d , 将右半部分的 N 个齿按从左至右的顺序编号, 令第 i 个齿的顶角为 α_i , 齿高为 h_i , 折射率为 n , 光线透过第 i 个齿的偏转角度为 u_i , 其中 $i = 1, 2, 3, \dots, N$, 则相应地, 每个齿的边缘点按从左至右的顺序依次记为 $A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_{N+1}$, 记 A_i 点的位置坐标为 (X_{A_i}, Y_{A_i}) , 相应地, 真空集热管上的点分别编号 $B_1, B_2, \dots, B_i, \dots, B_{N+1}$, 记 B_i 点的位置坐标为 $(X_{B_i},$

$Y_{B_i})$, $u_i = \arctan \frac{|Y_{A_i} - Y_{B_i}|}{|X_{A_i} - X_{B_i}|}$, 则所述线性菲涅尔反射镜的第 i 个齿的顶角 α_i 和齿高 h_i 如

下:

$$\alpha_i = \arctan \frac{\sin u_i}{n - \cos u_i};$$

$$h_i = d \cdot \tan \alpha_i;$$

右方的线性菲涅尔反射镜相对于水平面的倾角为 γ , 该线性菲涅尔反射镜每个区域具有一个齿, 则其共具有 N 个齿, 其每个齿的齿宽均为 b , 并且 $b = \frac{d}{\cos \gamma}$, 其中 d 为菲涅尔透镜上每个齿的齿宽; 将该线性菲涅尔反射镜的 N 个齿按从左至右的顺序编号, 令第 j 个齿的顶角为 β_j , 齿高为 H_j , 每个齿的边缘点按从左至右的顺序依次记为 $P_1, P_2, \dots, P_j, \dots, P_{N+1}$, 并且 P_j 点的位置坐标为 (X_{P_j}, Y_{P_j}) , 相应地, 真空集热管上的点分别为 $Q_1, Q_2, \dots, Q_j, \dots, Q_{N+1}$, 并且 Q_j 点的位置

坐标为 (X_{Q_j}, Y_{Q_j}) , 其中 $j=1, 2, 3, \dots, N$, 则线性菲涅尔反射镜第 j 个齿的顶角 β_j 和齿高 H_j 为:

$$\beta_j = \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} \arctan \frac{|Y_{P_j} - Y_{Q_j}|}{|X_{P_j} - X_{Q_j}|} - \gamma;$$

$$H_j = b \cdot \tan \beta_j.$$

基于非成像光学分区多焦点的菲涅尔光热聚光结构和方法

技术领域

[0001] 本发明属于聚光技术领域,更具体地,涉及一种菲涅尔光热聚光结构。

背景技术

[0002] 太阳能热发电是通过聚光装置将太阳能光线聚集起来获得高温热源,加热工质,获得高温高压的蒸汽驱动汽轮发电机进行发电。

[0003] 菲涅尔聚光装置包括菲涅尔透镜和线性菲涅尔反射镜,具有易于制造、价格低廉、聚光比可调、对安装固定要求低维护简便等突出优点。因此菲涅尔式太阳能聚光装置的使用在空间应用和照明方面非常受欢迎,经过技术进步和可行性部署在太阳能热发电系统中,正在进行广泛的研究工作。但传统的菲涅尔透镜的设计都是将光线经过光学系统聚焦到一个确定的焦点,这样的设计会导致该焦点中心出现峰值,造成非常大的不均匀性。

[0004] 太阳辐射随着时间变化和空间变化,具有很强的不均匀性,而且在聚光装置的作用下能量密度分布不均的情况会进一步加强。传统的集热器集热管工作时,仅有接受反射镜聚光的一侧受热,热流密度非常大,而另一侧能量密度几乎为零,而且聚光加热一侧的太阳能热流分布也非常不均匀。因此太阳能热发电系统集热装置表面的热流密度随着时间和空间不断变化,集热器吸收装置在集热过程中,有着较高的温差,形成较大温度梯度,导致集热器吸收装置管壁的热应力和变形。因此从安全性的角度,金属管发生变形弯曲会导致真空玻璃管破裂,引发安全问题,所以不能忽略温度梯度引起的热应力和变形。从经济性的角度来说,在非均匀热流密度的工作状况下,热应力会使集热器吸收金属管产生变形,发生弯曲,偏离设计位置,导致聚光效率大幅度下降。

发明内容

[0005] 针对现有技术的以上缺陷或改进需求,本发明提供了一种基于非成像光学分区多焦点的菲涅尔光热聚光结构和方法,对光学系统及集热目标进行区域划分和焦点对应,利用边缘光线原理,使光线经过光学系统能够均匀的到达集热目标的对应区域上,使集热目标表面热流密度均匀。譬如,本发明中对光学系统菲涅尔透镜和线性菲涅尔反射镜、集热目标真空吸热管进行区域划分和焦点对应,使光学经过折射能够均匀的到达真空吸热管表面的对应区域,使真空吸热管表面热流密度均匀;基于非成像本发明使每个区域的热流密度相等,当区域数量达到要求时,即可以保证在整个真空集热管表面的热流密度均匀,减小集热管的热应力和变形,从而提高聚热效率和加热的安全性。

[0006] 为实现上述目的,按照本发明的一个方面,提供了基于非成像光学分区多焦点的菲涅尔光热聚光结构,其特征在于,包括菲涅尔透镜和两块线性菲涅尔反射镜,其中,

[0007] 菲涅尔透镜和两块线性菲涅尔反射镜用于共同配合对集热管的设定区域段的外表面进行加热,并且该区域段的外表面由弧度为 π 的上半弧面、弧度为 $\pi/2$ 的下左弧面和弧度为 $\pi/2$ 的下右弧面组成;

[0008] 所述菲涅尔透镜水平设置并且其左半部分和右半部分左右对称,该菲涅尔透镜用

于将竖直入射的光线透射到其下方的所述上半弧面上进行加热；

[0009] 两块所述线性菲涅尔反射镜左右对称设置并且结构相同，两者均位于所述菲涅尔透镜的下方，左方的线性菲涅尔反射镜用于将竖直入射的光线反射到其右方的所述下左弧面上进行加热；右方的线性菲涅尔反射镜用于将竖直入射的光线反射到其左方的下右弧面上进行加热；

[0010] 此外，所述上半弧面、下左弧面和下右弧面上的热流分别均匀分布且上述三个弧面上的热流密度相等。

[0011] 优选地，所述菲涅尔透镜右半部分的每个区域具有一个齿，则右半部分具有N个齿，并且每个齿的齿宽均为d，将右半部分的N个齿按从左至右的顺序编号，令第i个齿的顶角为 α_i ，齿高为 h_i ，折射率为n，光线透过第i个齿的偏转角度为 u_i ，其中 $i=1, 2, 3 \cdots N$ ，则相应地，每个齿的边缘点按从左至右的顺序依次记为 $A_1, A_2 \dots A_i \cdots A_{N+1}$ ，记 A_i 点的位置坐标为 (X_{A_i}, Y_{A_i}) ，相应地，真空集热管上的点分别编号 $B_1, B_2 \cdots B_i \cdots B_{N+1}$ ，记 B_i 点的位置坐标为

(X_{B_i}, Y_{B_i}) ， $u_i = \arctan \frac{|Y_{A_i} - Y_{B_i}|}{|X_{A_i} - X_{B_i}|}$ ，则所述线性菲涅尔反射镜的第i个齿的顶角 α_i 的和齿

高 h_i 如下：

$$[0012] \quad \alpha_i = \arctan \frac{\sin u_i}{n - \cos u_i} ;$$

$$[0013] \quad h_i = d \cdot \tan \alpha_i .$$

[0014] 优选地，右方的线性菲涅尔反射镜相对于水平面的倾角为 γ ，该线性菲涅尔反射镜每个区域具有一个齿，则其共具有N个齿，其每个齿的齿宽均为b，并且 $b = \frac{d}{\cos \gamma}$ ，其中d为菲涅尔透镜上每个齿的齿宽；将该线性菲涅尔反射镜的N个齿按从左至右的顺序编号，令第j个齿的顶角为 β_j ，齿高为 H_j ，每个齿的边缘点按从左至右的顺序依次记为 $P_1, P_2 \cdots P_j \cdots P_{N+1}$ ，并且 P_j 点的位置坐标为 (X_{P_j}, Y_{P_j}) ，相应地，真空集热管上的点分别为 $Q_1, Q_2 \cdots Q_j \cdots Q_{N+1}$ ，并且 Q_j 点的位置坐标为 (X_{Q_j}, Y_{Q_j}) ，其中 $j=1, 2, 3 \cdots N$ ，则线性菲涅尔反射镜第j个齿的顶角 β_j 和齿高 H_j 为：

$$[0015] \quad \beta_j = \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} \arctan \frac{|Y_{P_j} - Y_{Q_j}|}{|X_{P_j} - X_{Q_j}|} - \gamma ;$$

$$[0016] \quad H_j = b \cdot \tan \beta_j .$$

[0017] 按照本发明的另一个方面，还提供了基于非成像光学分区多焦点的菲涅尔光热聚光方法，其特征在于，包括以下步骤：

[0018] 1) 布置菲涅尔透镜、集热管和两块线性菲涅尔反射镜：将菲涅尔透镜水平设置于集热管的上方，两块线性菲涅尔反射镜分别置于集热管的左方和右方并且两者左右对称设置，以使菲涅尔透镜透射的光线和两块线性菲涅尔反射镜反射的光线共同配合照射到集热管的设定区域段的外表面进行加热，并且该区域段的外表面由弧度为 π 的上半弧面、弧度为 $\pi/2$ 的下左弧面和弧度为 $\pi/2$ 的下右弧面组成；其中，所述菲涅尔透镜的左半部分和右半部

分左右对称；

[0019] 2) 将菲涅尔透镜沿镜宽方向均分为 $2N$ 个区域,将所述上半弧面也对应均分为 $2N$ 个区域,按从左至右的顺序将菲涅尔透镜上的 $2N+1$ 个点与上半弧面的 $2N+1$ 个点一一对应；

[0020] 将右方的线性菲涅尔反射镜沿镜宽方向均分为 N 个区域,将集热管左半弧面也对应均分为 N 个区域,按从左至右的顺序将右方的线性菲涅尔反射镜的 $N+1$ 个点与下左弧面的 $N+1$ 个点一一对应；

[0021] 其中,菲涅尔透镜的镜宽为 B_1 ,每块线性菲涅尔反射镜的镜宽均为 B_2 , $B_1/N > 1\text{mm}$, $B_2/N > 1\text{mm}$,并且 $N \geq 3$,将以保证所述上半弧面、下左弧面和下右弧面上的热流分别均匀分布且上述三个弧面上的热流密度相等。

[0022] 优选地,所述菲涅尔透镜右半部分的每个区域具有一个齿,则右半部分具有 N 个齿,并且每个齿的齿宽均为 d ,将右半部分的 N 个齿按从左至右的顺序编号,令第 i 个齿的顶角为 α_i ,齿高为 h_i ,折射率为 n ,光线透过第 i 个齿的偏转角度为 u_i ,其中 $i = 1, 2, 3 \cdots N$,则相应地,每个齿的边缘点按从左至右的顺序依次记为 $A_1, A_2 \cdots A_i \cdots A_{N+1}$,记 A_i 点的位置坐标为 (X_{A_i}, Y_{A_i}) ,相应地,真空集热管上的点分别编号 $B_1, B_2 \cdots B_i \cdots B_{N+1}$,记 B_i 点的位置坐标为

(X_{B_i}, Y_{B_i}) , $u_i = \arctan \frac{|Y_{A_i} - Y_{B_i}|}{|X_{A_i} - X_{B_i}|}$,则所述线性菲涅尔反射镜的第 i 个齿的顶角 α_i 和齿

高 h_i 如下:

$$[0023] \quad \alpha_i = \arctan \frac{\sin u_i}{n - \cos u_i};$$

$$[0024] \quad h_i = d \cdot \tan \alpha_i.$$

[0025] 优选地,右方的线性菲涅尔反射镜相对于水平面的倾角为 γ ,该线性菲涅尔反射镜每个区域具有一个齿,则其共具有 N 个齿,其每个齿的齿宽均为 b ,并且 $b = \frac{d}{\cos \gamma}$,其中 d 为

菲涅尔透镜上每个齿的齿宽;将该线性菲涅尔反射镜的 N 个齿按从左至右的顺序编号,令第 j 个齿的顶角为 β_j ,齿高为 H_j ,每个齿的边缘点按从左至右的顺序依次记为 $P_1, P_2 \cdots P_j \cdots P_{N+1}$,并且 P_j 点的位置坐标为 (X_{P_j}, Y_{P_j}) ,相应地,真空集热管上的点分别为 $Q_1, Q_2 \cdots Q_j \cdots Q_{N+1}$,并且 Q_j 点的位置坐标为 (X_{Q_j}, Y_{Q_j}) ,其中 $j = 1, 2, 3 \cdots N$,则线性菲涅尔反射镜第 j 个齿的顶角 β_j 和齿高 H_j 为:

$$[0026] \quad \beta_j = \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} \arctan \frac{|Y_{P_j} - Y_{Q_j}|}{|X_{P_j} - X_{Q_j}|} - \gamma;$$

$$[0027] \quad H_j = b \cdot \tan \beta_j.$$

[0028] 总体而言,通过本发明所构思的以上技术方案与现有技术相比,能够取得下列有益效果:

[0029] 本发明基于非成像光学和多焦点设计方法,将聚光装置的镜面和真空集热管都分成若干个区域,使每个区域的热流密度相等,当区域数量达到要求时,即可以保证在整个真空集热管表面的热流密度均匀,减小集热管的热应力和变形,从而提高聚热效率和加热的

安全性。

附图说明

[0030] 图1是本发明的结构设计原理图；

[0031] 图2是本发明中菲涅尔透镜的透射原理图；

[0032] 图3是本发明中光线竖直照射在菲涅尔透镜的第*i*个齿和第*i*+1个齿上的示意图；

[0033] 图4是本发明中线性菲涅尔反射镜的反射原理图；

[0034] 图5是本发明中光线竖直照射在线性菲涅尔反射镜的第*j*个齿和第*j*+1个齿上的示意图。

具体实施方式

[0035] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。此外，下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

[0036] 参照图1~图5，基于非成像光学分区多焦点的菲涅尔光热聚光结构，其特征在于，包括菲涅尔透镜1和两块线性菲涅尔反射镜2，其中，

[0037] 菲涅尔透镜1和两块线性菲涅尔反射镜2用于共同配合对集热管3的设定区域段的外表面进行加热，并且该区域段的外表面由弧度为 π 的上半弧面、弧度为 $\pi/2$ 的下左弧面和弧度为 $\pi/2$ 的下右弧面组成；

[0038] 所述菲涅尔透镜1水平设置并且其左半部分和右半部分左右对称，该菲涅尔透镜1用于将竖直入射的光线透射到其下方的所述上半弧面上进行加热；

[0039] 两块所述线性菲涅尔反射镜2左右对称设置并且结构相同，两者均位于所述菲涅尔透镜1的下方，左方的线性菲涅尔反射镜2用于将竖直入射的光线反射到其右方的所述下左弧面上进行加热；右方的线性菲涅尔反射镜2用于将竖直入射的光线反射到其左方的下右弧面上进行加热；

[0040] 此外，所述上半弧面、下左弧面和下右弧面上的热流分别均匀分布且上述三个弧面上的热流密度相等。

[0041] 本结构在优化设计时，采用了包括划分，焦点划分，边缘光线对应，菲涅尔式太阳能聚光装置的几何参数的设计。

[0042] 本发明设计光路图如图1所示，真空集热器集热管3的圆心在菲涅尔透镜1的轴线上。光源为太阳光，假设太阳光近似为竖直入射到菲涅尔透镜1平面，经过菲涅尔透镜1的折射作用和线性菲涅尔反射镜2的反射作用，每一块区域的光线都透射到相应的设计点。

[0043] 首先进行区域划分。如图1所示，将聚光装置真空集热管3某一区域段的外表面分为弧度为 π 的上半弧面和弧度为 π 的下半弧面，上半弧面对应的是菲涅尔透镜1，下半弧面对应的是左右两块线性菲涅尔反射镜2，并且下半弧面分为弧度为 $\pi/2$ 的下左弧面和弧度为 $\pi/2$ 的下右弧面。

[0044] 第二，为了保证集热管3半表面均匀，将集热管3某一区域段的上半弧面平均分成2N个区域，对应菲涅尔透镜1上均分的2N个区域。将集热管3下半弧面平均分成2N个区域，左

下弧面和右下弧面分别对应线性菲涅尔反射镜2上均分的N个区域。由边缘光线原理可知,将菲涅尔透镜1上的点、线性菲涅尔反射镜2上的点与集热管3上的点对应,将N+1个点都一一对应起来,就可以保证线性菲涅尔透镜1上的2N个区域和两块线性菲涅尔反射镜2上的共2N个区域,与集热管3上的共计4N个区域都对应起来。因为由基本假设太阳光垂直入射到聚光装置上的,经过投影到平面的表面光线数量均匀,每个区域面积相同即每个区域光线总强度相同,经过菲涅尔透镜1系统折射到集热管3上半弧面2N个小区域和经过两块线性菲涅尔反射镜2反射到集热管3下半弧面上的2N个小区域光线总强度相同。当N足够大的时候,每个区域(即菲涅尔聚光装置的每个齿宽度)都很小,每个区域的光线总强度都相同,即可以认为光线强度和能量密度是均匀的。菲涅尔透镜1的镜宽为 B_1 ,每块线性菲涅尔反射镜2的镜宽均为 B_2 , $B_1/N > 1\text{mm}$, $B_2/N > 1\text{mm}$,并且 $N \geq 3$,譬如,当 $N=3$ 时,将弧度为 π 的上半弧面划分为6等分,左下弧面和右下弧面分别分为3等分,圆周分别对应光学系统镜面的不同部分,提升聚光均匀性,保证聚光均匀。以保证所述上半弧面、下左弧面和下右弧面上的热流分别均匀分布且上述三个弧面上的热流密度相等。

[0045] 第三,菲涅尔式太阳能聚光装置,菲涅尔透镜1的设计过程:

[0046] 菲涅尔透镜1是太阳光线透射过透镜聚集到真空集热管3表面的物理过程。菲涅尔透镜1的左半部分和右半部分左右对称,右半部分统一设计计算公式如公式(1)所示,其中,菲涅尔透镜1的第 i 个齿($i=1,2,3,\dots,N$)的顶角是 α_i , u_i 是第 i 个齿对应的光线经过透镜偏转的角度, n 为透镜的折射率。

$$[0047] \quad \tan \alpha_i = \frac{\sin u_i}{n - \cos u_i} \quad (1)$$

[0048] 结合分区多焦点设计方法的设计思想,将真空集热管3上表面分成2N个区域,菲涅尔透镜1的2N个齿分别对应真空集热管3上的对应区域。右半部分按从左至右的顺序依次编号为1,2,3...N齿,相应地,边缘点依次为 $A_1, A_2 \dots A_i \dots A_{N+1}$, A_i 点的位置坐标为 (X_{A_i}, Y_{A_i}) 。真空集热管3上的点分别编号 $B_1, B_2 \dots B_i \dots B_{N+1}$, B_i 点的位置坐标为 (X_{B_i}, Y_{B_i})

[0049] 垂直入射的光线经过菲涅尔透镜1发生偏转,由菲涅尔透镜1位置和集热管3位置,可以计算出区域边缘每一个点的坐标 A_i 点的位置坐标为 (X_{A_i}, Y_{A_i}) ,和 B_i 点的位置坐标为 (X_{B_i}, Y_{B_i}) 和每一个点对应光线偏转角 u_i 。而因为菲涅尔透镜1齿宽 d ,远小于透镜的焦距 f (透镜中心距真空集热管3的距离),在计算顶角 α_i 时忽略菲涅尔透镜1齿的齿高 h_i ,菲涅尔透镜1每个齿的齿宽 d 相等。

$$[0050] \quad \tan u_i = \frac{|Y_{A_i} - Y_{B_i}|}{|X_{A_i} - X_{B_i}|} \quad (2)$$

$$[0051] \quad h_i = d \cdot \tan \alpha_i \quad (3)$$

[0052] 由公式(1)、(2)和(3)可得出菲涅尔透镜1第 i 个齿的参数, α_i 和 h_i 。

[0053] 第四,菲涅尔式太阳能聚光装置,线性菲涅尔反射镜2的设计过程如下:

[0054] 线性菲涅尔反射镜2是太阳光线经过线性菲涅尔反射镜2表面发生反射聚集到真空集热管3表面的物理过程。光的反射作用,入射角 θ_{1j} 等于出射角 θ_{2j} 。

$$[0055] \quad \theta_{1j} = \theta_{2j} = \theta_j \quad (4)$$

[0056] 首先根据装置安装要求确认线性菲涅尔反射镜2装置的安装角 γ ,再结合分区多焦点设计方法的设计思想,将真空集热管3下表面分成 $2N$ 个区域,分别对应两块线性菲涅尔反射镜2的 $2N$ 个齿。竖直入射的光线经过线性菲涅尔反射镜2发生反射。

[0057] 线性菲涅尔反射镜2的每个齿的齿宽为 b 。将右方的线性菲涅尔反射镜2的齿按从左至右的顺序依次编号,相应地,边缘点依次为 $P_1, P_2 \cdots P_j \cdots P_{N+1}$, P_j 点的位置坐标为 (X_{P_j}, Y_{P_j}) ;真空集热管3上的点分别编号 $Q_1, Q_2 \cdots Q_j \cdots Q_{N+1}$, Q_j 点的位置坐标为 (X_{Q_j}, Y_{Q_j}) 。由线性菲涅尔反射镜2的位置和集热管3位置,可以计算出区域边缘每一个点的坐标,和每一个点对应光线的偏转,从而计算出线性菲涅尔反射镜2第 j 个齿的顶角 β_j 和齿高 H_j 。

$$[0058] \quad \text{由位置关系} \tan \delta_j = \frac{|Y_{P_j} - Y_{Q_j}|}{|X_{P_j} - X_{Q_j}|} \quad (5)$$

$$[0059] \quad \text{由几何关系} \delta_j + 2\theta_j = \frac{\pi}{2} \quad (6)$$

$$[0060] \quad \delta_j + \theta_j + \beta_j + \gamma = \frac{\pi}{2} \quad (7)$$

$$[0061] \quad \beta_j = \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} \arctan \frac{|Y_{P_j} - Y_{Q_j}|}{|X_{P_j} - X_{Q_j}|} - \gamma \quad (8)$$

$$[0062] \quad H_j = b \cdot \tan \beta_j \quad (9)$$

[0063] 本领域的技术人员容易理解,以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

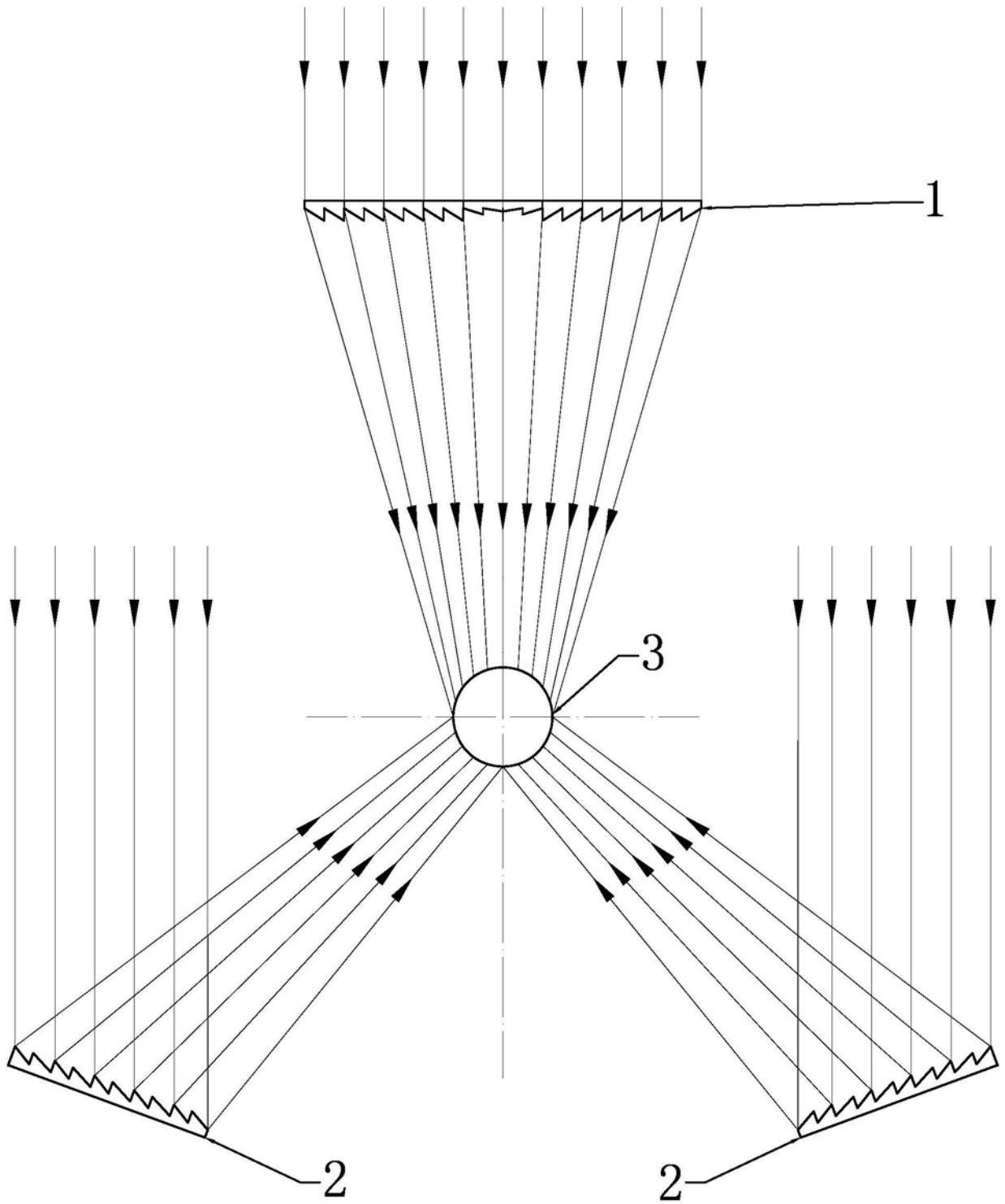


图1

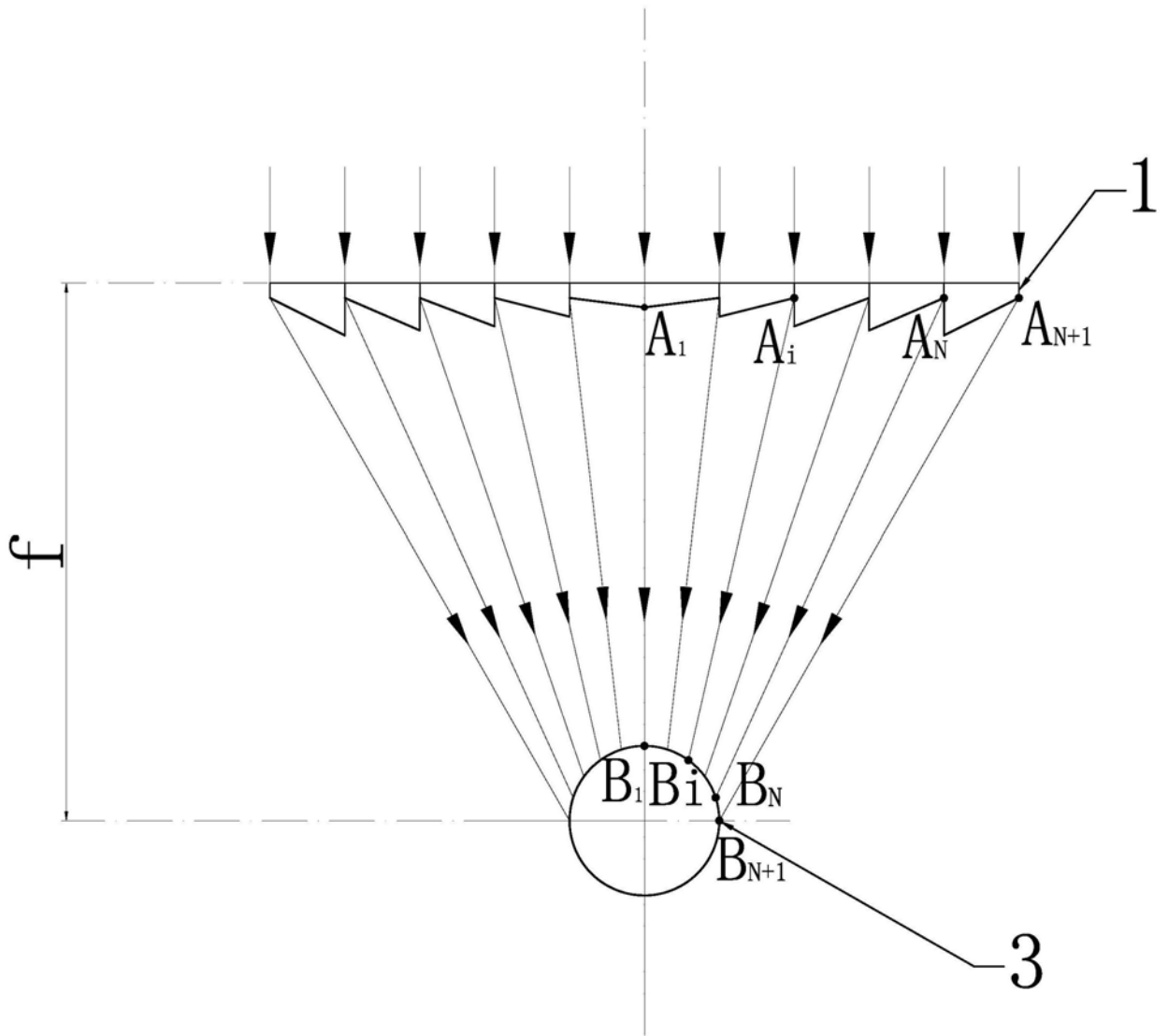


图2

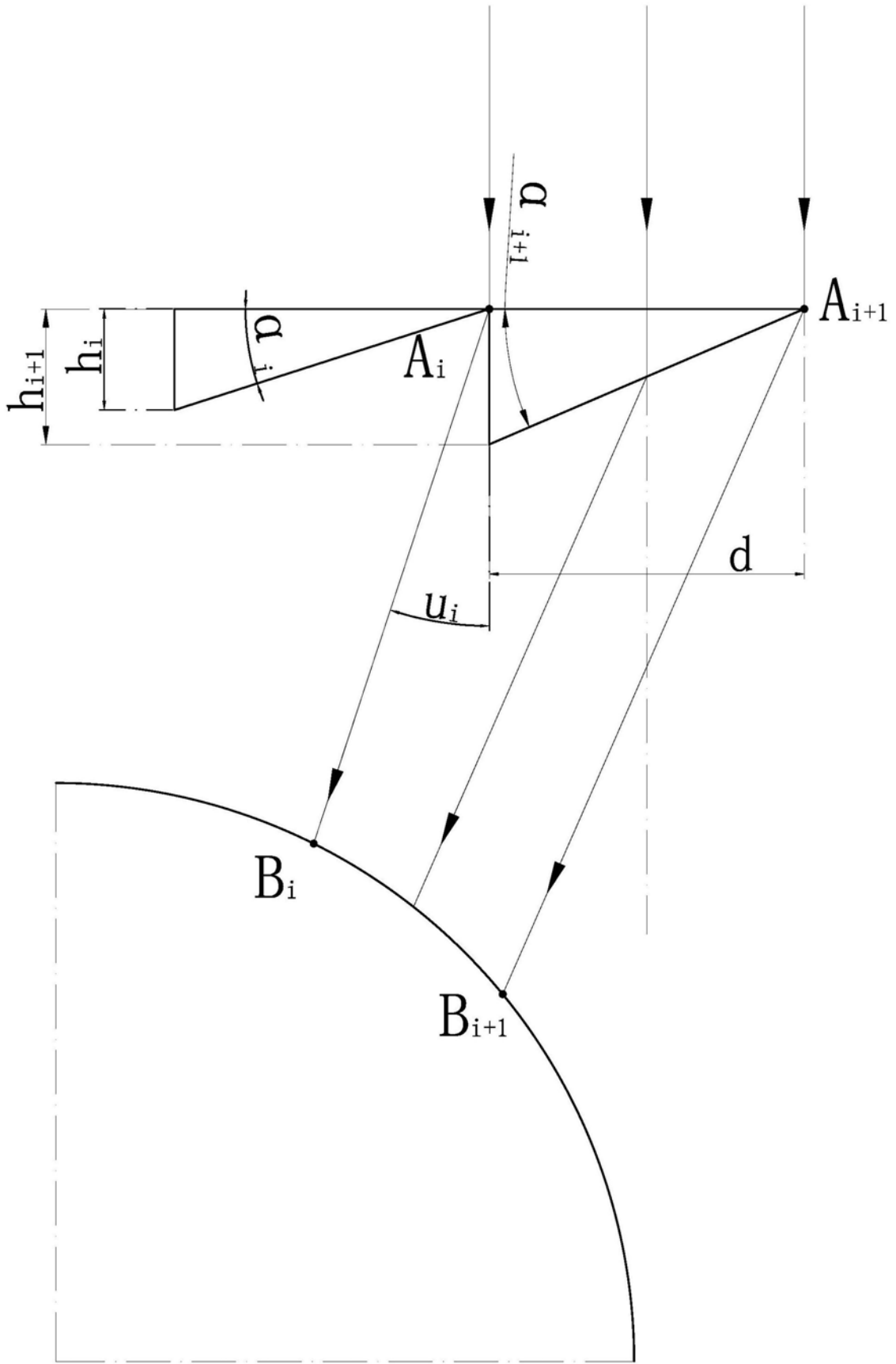


图3

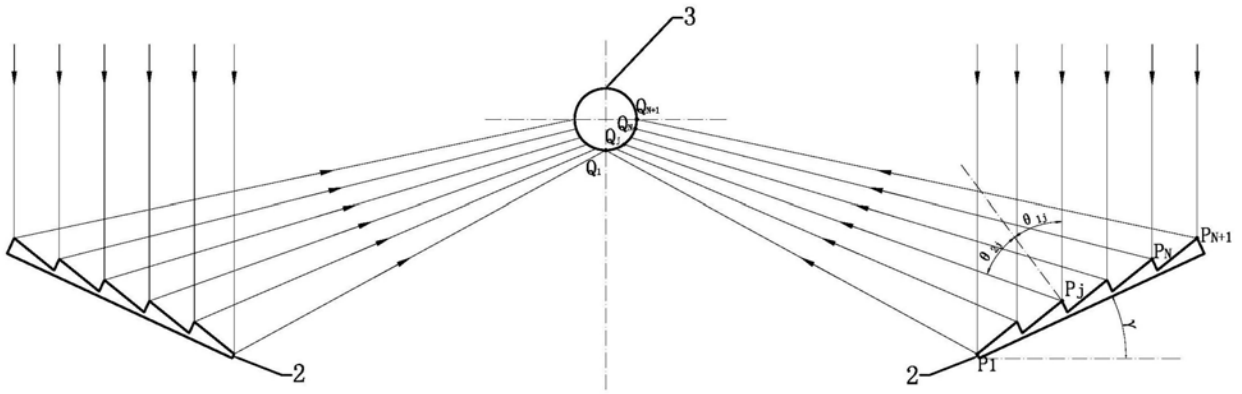


图4

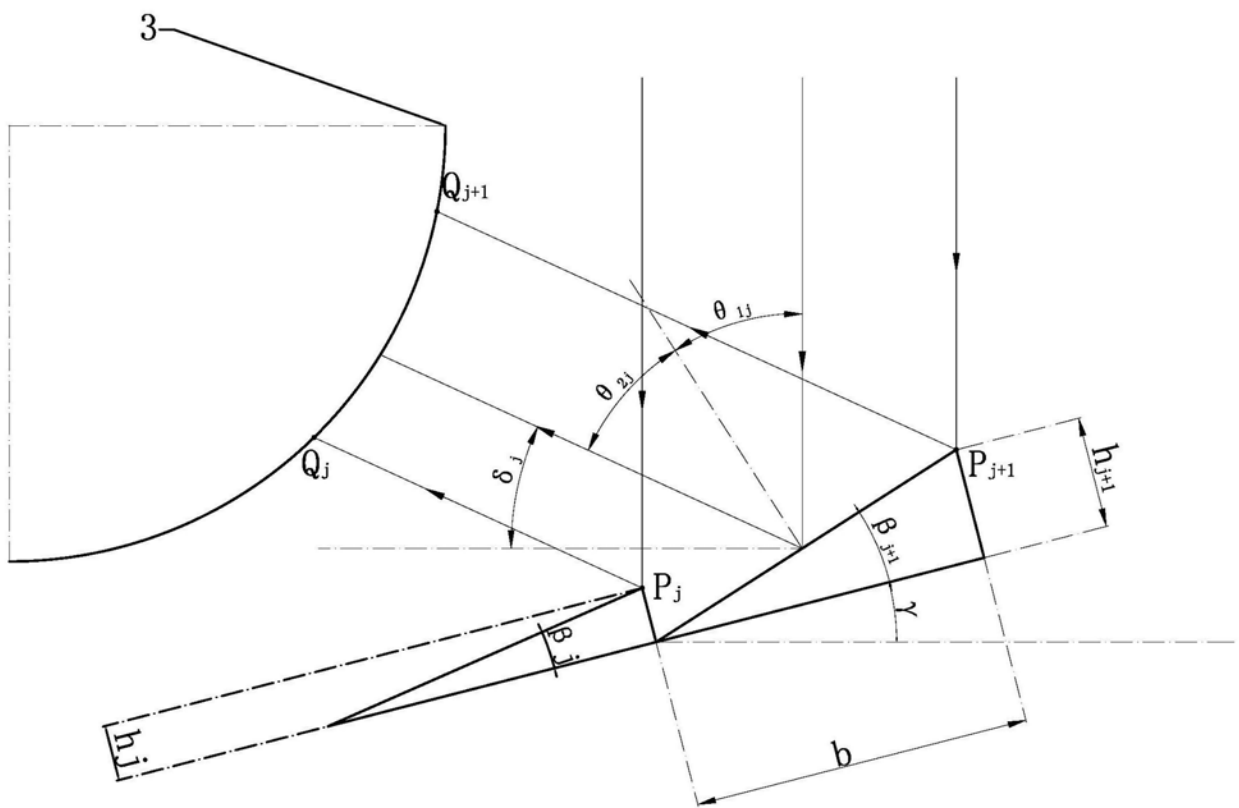


图5