



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114296089 B

(45) 授权公告日 2022.06.14

(21) 申请号 202210201577.3

(51) Int.Cl.

(22) 申请日 2022.03.03

G01S 17/02 (2020.01)

G01S 7/481 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 114296089 A

审查员 易锋

(43) 申请公布日 2022.04.08

(73) 专利权人 深圳市海创光学有限公司

地址 518117 广东省深圳市龙岗区坪地街

道飞莱特工业厂区2号厂房1-4楼

专利权人 福建海创光电技术股份有限公司

(72) 发明人 林孝同 罗联镜 胡豪成 丁广雷

张峭峰 凌吉武 于农村

(74) 专利代理机构 北京箴思知识产权代理有限公司

11913

专利代理师 李春晖

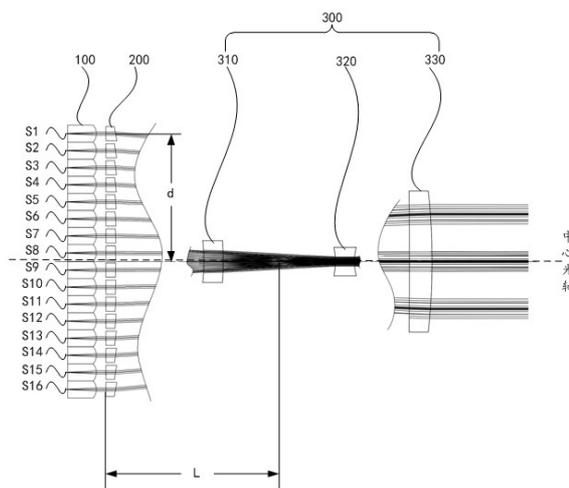
权利要求书1页 说明书8页 附图7页

(54) 发明名称

光学系统及激光雷达

(57) 摘要

本发明提出一种光学系统及激光雷达,该光学系统包括:准直透镜,用于对多个激光光源发射的激光束进行准直射出;多个棱镜,在准直透镜的出射方向上,多个棱镜分别与多个激光光源对应设置,多个棱镜分别用于将从准直透镜出射的多束激光束向所述光学系统的中心光轴方向折射;扩束准直镜组,设于光学系统的中心光轴上,扩束准直镜组用于将多个棱镜折射后的多束激光束进行扩束准直后射出。本申请通过设置棱镜,能够将各个光源的激光束向中心光轴靠近,从而缩小了光学系统的尺寸;通过设置扩束准直镜组,配合棱镜,能够调整各个透镜之间的距离,从而缩小准直出射后的各个激光束之间的角度,提高了激光雷达的角分辨率以及探测距离。



1. 一种光学系统,用于多路发射的激光雷达,所述激光雷达具有多个激光光源,其特征在于,所述光学系统包括:

准直透镜,用于对所述多个激光光源发射的激光束进行准直射出;

多个棱镜,在所述准直透镜的出射方向上,所述多个棱镜分别与所述多个激光光源对应设置,所述多个棱镜分别用于将从所述准直透镜出射的多束激光束向所述光学系统的中心光轴方向折射,各个所述棱镜均具有入射面和折射面,每个所述棱镜的折射面与入射面成夹角设置,各个所述棱镜的入射面分别与从所述准直透镜出射的多个激光束垂直设置;

扩束准直镜组,设于所述光学系统的中心光轴上,所述扩束准直镜组用于将所述多个棱镜折射后的多束激光束进行扩束准直后射出,所述扩束准直镜组包括第一镜组和第二镜组,所述多个激光光源发射的激光束经过所述多个棱镜折射后,先后射入所述第一镜组和所述第二镜组,所述第一镜组用于对所述多个激光光源发射的激光束进行扩束,所述第二镜组用于对所述多个激光光源发射的激光束进行准直,所述第一镜组和所述第二镜组的中心轴与所述光学系统的中心光轴重合,所述第一镜组包括第一负光焦度透镜和第二负光焦度透镜;

各个所述棱镜的入射面和折射面之间的夹角满足如下关系:

$$0.75 < d / \{L * \tan[\arcsin(n * \sin\delta) - \delta]\} < 1.25$$

其中,d为所述棱镜至所述光学系统中心光轴之间的距离, $\delta$ 为所述棱镜的入射面与所述折射面之间的夹角,n为所述棱镜的折射率,L为在光线传播方向上,所述棱镜至所述第一镜组等效面的距离。

2. 如权利要求1所述的光学系统,其特征在于,所述第一负光焦度透镜和所述第二负光焦度透镜密接成双胶合镜片。

3. 如权利要求1所述的光学系统,其特征在于,所述第二镜组包括第一正光焦度透镜。

4. 如权利要求3所述的光学系统,其特征在于,所述第二镜组还包括第二正光焦度透镜。

5. 如权利要求4所述的光学系统,其特征在于,所述第一正光焦度透镜和第二正光焦度透镜密接成双胶合镜片。

6. 一种激光雷达,其特征在于,包括多个激光光源,以及如权利要求1-5任一项所述光学系统。

## 光学系统及激光雷达

### 技术领域

[0001] 本发明涉及激光雷达领域,尤其涉及一种光学系统及激光雷达。

### 背景技术

[0002] 目前,一般通过提高激光雷达的发射功率,来提高激光雷达的探测距离,由于受到单个激光光源功率的限制,故而当前大多采用多路激光光源以提高激光雷达的发射功率。在现有技术中,当采用多个激光光源发射多束激光时,一般是通过准直镜头对多路激光束进行准直,并出射多束激光。由于受到激光光源尺寸的限制,各激光光源必然具有一定的间隔,导致准直后射出的相邻激光束夹角比较大,从而造成激光雷达角分辨率不足,探测距离不远;另外,当设置多个激光光源时,需要对所有的激光束进行准直,难以兼顾到中心光束和边缘光束的光束质量;再有,当激光束较多时,造成光学系统的外径尺寸过大、系统总长过长。

[0003] 上述内容仅用于辅助理解本发明的技术方案,并不代表承认上述内容是现有技术。

### 发明内容

[0004] 本发明的主要目的在于提供一种光学系统及激光雷达,旨在解决背景技术中所提到的问题。

[0005] 为实现上述目的,本发明提供一种光学系统,包括:

[0006] 准直透镜,用于对所述多个激光光源发射的激光束进行准直射出;

[0007] 多个棱镜,在所述准直透镜的出射方向上,所述多个棱镜分别与所述多个激光光源对应设置,所述多个棱镜分别用于将从所述准直透镜出射的多束激光束向所述光学系统的中心光轴方向折射;

[0008] 扩束准直镜组,设于所述光学系统的中心光轴上,所述扩束准直镜组用于将所述多个棱镜折射后的多束激光束进行扩束准直后射出。

[0009] 在本实施例中,所述扩束准直镜组包括第一镜组和第二镜组,所述多个激光光源发射的激光束经过所述多个棱镜折射后,先后射入所述第一镜组和所述第二镜组,所述第一镜组用于对所述多个激光光源发射的激光束进行扩束,所述第二镜组用于对所述多个激光光源发射的激光束进行准直,所述第一镜组和所述第二镜组的中心轴与所述光学系统的中心光轴重合。

[0010] 在本实施例中,所述第一镜组包括第一负光焦度透镜和第二负光焦度透镜。

[0011] 在本实施例中,所述第一负光焦度透镜和所述第二负光焦度透镜密接成双胶合镜片。

[0012] 在本实施例中,所述第二镜组包括第一正光焦度透镜。

[0013] 在本实施例中,所述第二镜组还包括第二正光焦度透镜。

[0014] 在本实施例中,所述第一正光焦度透镜和第二正光焦度透镜密接成双胶合镜片。

[0015] 在本实施例中,各个所述棱镜均具有入射面和折射面,每个所述棱镜的折射面与入射面成夹角设置,各个所述棱镜的入射面分别与从所述准直透镜出射的多个激光束垂直设置。

[0016] 在本实施例中,各个所述棱镜的入射面和折射面之间的夹角满足如下关系:

[0017]  $0.75 < d / \{L * \tan[\text{asin}(n * \sin\delta) - \delta]\} < 1.25$

[0018] 其中,d为所述棱镜至所述光学系统中心光轴之间的距离, $\delta$ 为所述棱镜的入射面与所述折射面之间的夹角,n为所述棱镜的折射率,L为在光线传播方向上,所述棱镜至所述第一镜组等效面的距离。

[0019] 本申请实施例还提出一种激光雷达,包括多个激光光源,以及上述任一实施例所述光学系统。

[0020] 本发明提出的光学系统,通过设置棱镜,可以将各个激光光源发射的激光束向中心光轴靠近,从而缩小光学系统的尺寸;通过设置扩束准直镜组,配合棱镜,调整各个透镜之间的距离从而可以调整准直出射后的各个激光束之间的角度,以提高激光雷达的角分辨率,起到提高探测距离的目的。

## 附图说明

[0021] 图1为现有技术中激光雷达的发射示意图;

[0022] 图2为图1中的透镜1的放大图;

[0023] 图3为本申请一实施例中的光学系统运用在多路发射激光雷达上的示意图;

[0024] 图4为图3的局部放大图;

[0025] 图5为本申请另一实施例中的光学系统中的第一镜组一实施例的结构示意图;

[0026] 图6为本申请另一实施例中的光学系统中的第一镜组一实施例的结构示意图;

[0027] 图7为本申请另一实施例中的光学系统中的第二镜组一实施例的结构示意图;

[0028] 图8为本申请另一实施例中的光学系统中的第二镜组一实施例的结构示意图;

[0029] 图9为本申请一实施例中的光学系统运用在16路雷达激光上在100米处的激光束分布图;

[0030] 图10为本申请一实施例中的光学系统运用在32路雷达激光上在200米处的激光束分布图。

[0031] 附图标号:S1-S16激光光源,100-准直透镜,200-棱镜,300-扩束准直镜组,310-第一负光焦度透镜,320-第二负光焦度透镜,330-第一正光焦度透镜,340-第三负光焦度透镜,350-第二正光焦度透镜。

## 具体实施方式

[0032] 下面将参考若干示例性实施方式来描述本发明的原理和精神。应当理解,给出这些实施方式仅仅是为了使本领域技术人员能够更好地理解进而实现本发明,而并非以任何方式限制本发明的范围。相反,提供这些实施方式是为了使本公开更加透彻和完整,并且能够将本公开的范围完整地传达给本领域的技术人员。

[0033] 根据本发明的实施方式,提出了一种光学系统及激光雷达。

[0034] 在本文中,需要理解的是,附图中的任何元素数量均用于示例而非限制,以及任何

命名都仅用于区分,而不具有任何限制含义。

[0035] 下面参考本发明的若干代表性实施方式,详细阐释本发明的原理和精神。

[0036] 发明概述

[0037] 发明人研究发现,当采用多个激光光源发射多束激光时,一般是通过准直镜头对多路激光束进行准直,并出射多束激光,如图1所示,图1中左侧具有两个激光光源A1、A2,向右侧发射出两束激光,两束激光首先经过透镜1进行扩束(如图2所示,图2为图1中透镜1的放大图),然后经过透镜2进行准直,从图1中可以看出,左侧两个激光光源A1、A2不可避免的会具有一定的间隔,经过透镜1进行扩束后,还需要经过透镜2进行准直,因此当激光光源的数量较多时,就需要较大直径的透镜2,以将全部的激光光束进行准直,因此激光镜头的尺寸就会较大。另外,结合图1和图2还可以看出,对于两个光源A1、A2分别用三条光线代表各自激光束的话,经过扩束准直射出后,相邻两条出射光线之间具有较大的角度,造成激光雷达角分辨率不足,探测距离不远。而且图1、图2仅仅是示出了两个激光光源,如果激光光源较多时,镜片的不同位置对像差的矫正不一致,难以兼顾到中心光束和边缘光束的光束质量。

[0038] 综上所述,本申请提出一种光学系统及激光雷达,通过设置多个棱镜200和扩束准直镜组300来解决上述问题。

[0039] 示例性装置

[0040] 本示例性实施方式提出一种光学系统,用于多路发射的激光雷达,所述激光雷达具有多个激光光源,其特征在于,所述光学系统包括:

[0041] 准直透镜100,用于对所述多个激光光源发射的激光束进行准直射出;

[0042] 多个棱镜200,在所述准直透镜100的出射方向上,所述多个棱镜200分别与所述多个激光光源对应设置,所述多个棱镜200分别用于将从所述准直透镜100出射的多束激光束向所述光学系统的中心光轴方向折射;

[0043] 扩束准直镜组300,设于所述光学系统的中心光轴上,所述扩束准直镜组300用于将所述多个棱镜200折射后的多束激光束进行扩束准直后射出。

[0044] 如图3和图4所示,图3为申请本实施例中的光学系统应用于一激光雷达的示意图,图4为图3的局部放大图,其中激光雷达包括从上至下的多个激光光源(S1-S16),在本实施例中的激光雷达的多个激光光源从上至下依次排列,但在其他实施例中,也可以是依次水平排列,或者以其他形式进行排列,本本申请实施例对于激光雷达的多个激光光源的个数以及具体排列形式不做任何限定。

[0045] 以如图3和图4所示上下排列的激光雷达为例,在本申请实施例中,准直透镜100为准直镜组,准直镜组包括多个准直透镜100,比如准直镜组可以选用准直透镜100C-LENS叠放排列或者准直透镜100阵列,由于在本实施例中该激光雷达的多个激光光源是从上至下依次排列的,因此准直镜阵组的多个准直透镜100也从上至下依次排列。其中,每个准直透镜100对应一个激光光源,多个激光光源间隔相同,相邻两个准直透镜100之间的距离与相邻两个激光光源之间的距离保持一致,每个激光光源发射出的激光束透过对应的准直透镜100后,被准直并以一个较小的口径射出,在激光束的发射方向上,激光束先经过准直透镜100,透过准直透镜100后进入棱镜200,如图4所示,棱镜200设有多个,多个棱镜200从上至下依次排列,每个棱镜200分别对应一个准直透镜100以及一个激光光源,相邻连个棱镜200

之间的距离也与相邻两个激光源之间的距离保持一致,各个棱镜200分别用来将其对应的激光光源发出的激光束向光学系统的中心光轴方向折射,如图4所示,由于激光雷达的多个激光光源上下排列,多个棱镜200也上下排列,因此,光学系统的中心光轴位于中间位置,那么中心光轴两侧的棱镜200就分别向中间折射激光束,每个激光光源之间均具有间隔,多个激光光源排列上下排列后尺寸较大,经过多个棱镜200向中心光轴折射之后,使各个激光光源发出激光束均向中间汇聚,从而与图1图2的现有技术相比,本申请实施例中的多个棱镜200使多个激光光源发射的激光束向中心光轴靠近,从而后续的准直扩束准直镜组300可以以较小的直径就能够把全部激光束进行扩束准直,进而降低了光学系统的尺寸,另外各个激光光源所发射的激光束通过各个棱镜200偏折后,各激光束经过准直扩束镜组的位置偏离较小,因此能兼顾到中心和边缘的光束质量。需要说明的是,在本申请实施例中准直透镜100为准直镜组,但在其他实施例中,也可以为单独设置的一个准直透镜100,该单独设置的准直透镜100可以将全部的激光光源进行准直后射出,本申请实施例对准直透镜100的个数不做限制。

[0046] 继续参照图4,各个激光光源发出的激光束经过准直透镜100和棱镜200之后进入扩束准直镜组300,在本实施例中,所述扩束准直镜组300包括第一镜组和第二镜组,所述多个激光光源发射的激光束经过所述多个棱镜200折射后,先后射入所述第一镜组和所述第二镜组,所述第一镜组用于对所述多个激光光源发射的激光束进行扩束,所述第二镜组用于对所述多个激光光源发射的激光束进行准直,所述第一镜组和所述第二镜组的中心轴与所述光学系统的中心光轴重合。

[0047] 在本实施例中,所述第一镜组包括第一负光焦距透镜310和第二负光焦距透镜320。

[0048] 在本实施例中,所述第二负光焦距透镜320位于所述第一负光焦距透镜310和所述第二镜组之间,所述第一负光焦距透镜310和所述第二负光焦距透镜320均为球面镜,在另一实施例中还可以均为非球面镜,或者一个为球面镜另一个为非球面镜。

[0049] 在本实施例中,所述第一负光焦距透镜310和所述第二负光焦距透镜320密接成双胶合镜片。

[0050] 在本实施例中,所述第二镜组包括第一正光焦距透镜330。

[0051] 在本实施例中,所述第二镜组还包括第二正光焦距透镜350。

[0052] 在本实施例中,所述第一正光焦距透镜330和第二正光焦距透镜350密接成双胶合镜片。

[0053] 在本实施例中,所述第一正光焦距透镜330和所述第二正光焦距透镜350均为球面镜,在另一个实施例中还可以均为非球面镜,或者一个为球面镜,一个为非球面镜。

[0054] 在本实施例中,扩束准直镜组300包括至少一片负光焦距透镜和一片正光焦距透镜,比如在如图4所示的实施例中,第一镜组包括第一负光焦距透镜310和第二负光焦距透镜320,第二镜组包括一片正光焦距透镜,其中第一负光焦距透镜310和第二负光焦距透镜320用来对每个激光光源发出的激光束进行扩束,以压缩视场角改善边缘像差,正光焦距透镜用来对扩束后的各个激光束进行准直射出。

[0055] 在如图4所示的实施例中,第一镜组包括第一负光焦距透镜310和第二负光焦距透镜320,在其他实施例中,也可以是将第一负光焦距透镜310和第二负光焦距透镜320进行密

接胶合成一片透镜(如图5所示),当然在其他实施例中,也可以是由更多片负光焦度透镜组成,即除了包括第一负光焦度透镜310和第二负光焦度透镜320之外,还包括第三负光焦度透镜340(如图6所示)或者其他更多个负光焦度透镜。

[0056] 另外,在如图4所示的实施例中,第二镜组仅包括了一片正光焦度透镜,在其他实施例中,还可以是包括多片正光焦度透镜,如图7所示,第二镜组包括第一正光焦度透镜330和第二正光焦度透镜350,其中第一正光焦度透镜330与第二正光焦度透分离设置,或者在其他实施例中,也可以是由多片正光焦度透镜组成的一片正光焦度透镜,如图8所示,第二镜组由第一正光焦度透镜330和第二正光焦度透镜350密接胶合而成。

[0057] 另外,在其他实施例中,第二镜组还可以由一片正光焦度透镜和一片负光焦度透镜密接而成。

[0058] 本申请通过设置棱镜200,可以将各个激光光源发射的激光束向中心光轴靠近,从而缩小光学系统的尺寸;通过设置扩束准直镜组300,配合棱镜200,调整各个透镜之间的距离从而可以缩小准直出射后的各个激光束之间的角度,以提高激光雷达的角分辨率,起到提高探测距离的目的。

[0059] 在本申请另一个实施例中,如图3和图4所示,各个所述棱镜200均具有入射面和折射面,每个所述棱镜200的折射面与入射面成夹角设置,各个所述棱镜200的入射面分别与从所述准直透镜100出射的多个激光束垂直设置。如图4所示,激光光源发射的激光束经过准直透镜100后进入棱镜200的入射面,然后从折射面射出,其中入射面与从准直透镜100准直后射出的激光束垂直,即,每个激光光源发射的激光束经过准直透镜100准直后垂直的入射至对应的棱镜200,然后经过折射面,向中心光轴进行折射,由于不同位置的激光光源发射的激光束距离中心光轴的距离不同,因此需要不同折射角度的棱镜200对各个激光光源发射的激光束进行折射。

[0060] 在本实施例中,各个棱镜200的入射面和折射面满足如下关系:

$$[0061] \quad 0.75 < d / \{L * \tan[\text{asin}(n * \sin\delta) - \delta]\} < 1.25$$

[0062] 其中,如图4所示,d为所述棱镜200至所述光学系统中心光轴之间的距离, $\delta$ 为所述棱镜200的入射面与所述折射面之间的夹角,n为所述棱镜200的折射率,L为在光线传播方向上,所述棱镜200至第一镜组等效面的距离,其中等效面可以根据各镜片的光焦度进行计算,或者可以根据实际的光线追迹进行计算。

[0063] 根据上述关系,可以根据激光光源距离中心光轴之间的距离以及棱镜200折射率和以及光学系统的尺寸(棱镜200距离扩束准直镜组300中的至少一片负光焦度透镜等效面的距离),进行设置各个棱镜200的折射面和入射面之间的角度。

[0064] 另外对于图3、图4而言,扩束准直镜组300中包含了第一负光焦度透镜310和第二负光焦度透镜320,因此计算时,需要计算棱镜200至第一负光焦度透镜310和第二负光焦度透镜320的等效面的距离,在其他实施例中,如果扩束准直镜组300中仅仅包含了一个负光焦度透镜,那么则计算棱镜200至该一片负光焦度透镜的距离。

[0065] 在另一实施例中,在确定了各个棱镜200的角度之后,还可以将多个棱镜200从上之下进行密接胶合,需要说明的时在密接胶合时需要让各个棱镜200之间胶合的距离与各个激光光源之间的距离保持一致。

[0066] 如图3和如图4所示,在本申请另一实施例中,激光雷达的各个激光器发设的激光

波长1550nm,NA=0.09,激光器输出的激光通过光纤到达准直镜组,相邻光纤间距为1.8mm,即相邻激光束之间的距离为1.8mm,相邻两准直透镜100的间距为1.8mm;经过准直透镜100后输出的准直激光束到达棱镜200组后偏折光束,相邻棱镜200间距为1.8mm;偏折后的所有激光束光束经过扩束准直镜组300后以相邻角度 $0.02^\circ$ ,光束直径为10mm出射。表1为本实施例中的光学系统一种示例性设计实例数据,图9为本实施例中激光雷达在的本光学系统下100m出的照射分布图。如下:

[0067] 表1

序号	R 值 (mm)	厚度 (mm)	折射率 nd	阿贝数 Vd
0	无穷大	0.19755		
1	无穷大	2.98	1.78472	25.68
2	-1.419	1		
3	无穷大	1	1.5168	64.20
*4	无穷大	138.733		
5	-18.770	2	1.8040	46.57
6	-46.065	11.669		
7	-8.049	2	1.8040	46.57
8	6.165	93.571		
9	-973.532	2.361	1.8040	46.57
10	-71.606			

[0069] 其中,0为各个激光器,1为准直透镜100的入射面,2为准直透镜100的出射面,3为各个棱镜200的入射面,\*4为各个棱镜200的折射面,5为第一负光焦度透镜310的入射面,6为第一负光焦度透镜310的出射面,7为第二负光焦度的入射面,8为第二负光焦度透镜320的出射面,9为第一正光焦度透镜330的入射面,10为第一正光焦度透镜330的出射面。其中,图3和图4所示的光学系统中设有十六个激光光源,对应十六个棱镜200,从上至下,各个棱镜200的第一折射面与第一入射面之间的角度为: $-10.043^\circ$ 、 $-8.717^\circ$ 、 $-7.410^\circ$ 、 $-6.088^\circ$ 、 $-4.754^\circ$ 、 $-3.406^\circ$ 、 $-2.047^\circ$ 、 $-0.682^\circ$ 、 $0.682^\circ$ 、 $2.047^\circ$ 、 $3.406^\circ$ 、 $4.754^\circ$ 、 $6.088^\circ$ 、 $7.410^\circ$ 、 $8.717^\circ$ 、 $10.043^\circ$ 。

[0070] 在本申请另一实施例中,激光雷达的各个激光器发射的激光波长1550nm,NA=0.09,激光器输出的激光通过光纤到达准直镜组,相邻光纤间距为1.0mm,即相邻激光束之间的距离为1.0mm,相邻两准直透镜100的间距为1.0mm;经过准直透镜100后输出的准直激光束到达棱镜200组后偏折光束,相邻棱镜200间距为1.0mm;偏折后的所有激光束光束经过扩束准直镜组300后以相邻角度 $0.01^\circ$ ,光束直径为10mm出射。表2为本实施例中的光学系统一种示例性设计实例数据,图10为本实施例中激光雷达在的本光学系统下200m出的照射分

布图。如下：

[0071] 表2

序号	R 值	厚度	折射率 nd	阿贝数 Vd
0	无穷大	0.1093		
1	无穷大	2.62	1.78472	25.68
2	-1.419	1		
3	无穷大	1	1.5168	64.20
*4	无穷大	139.964		
*5	-10.121	2	1.7740	49.59
*6	-24.901	4.328		
7	-7.649	2	1.8830	40.85
8	6.055	95.621		
*9	-822.851	3.155	1.6938	53.13
*10	-62.926			

[0072]

[0073] 其中,0为各个激光器,1为准直透镜100的入射面,2为准直透镜100的出射面,3为各个棱镜200的入射面,\*4为各个棱镜200的折射面,\*5为第一负光焦度透镜310的入射面,\*6为第一负光焦度透镜310的出射面,7为第二负光焦度的入射面,8为第二负光焦度透镜320的出射面,\*9为第一正光焦度透镜330的入射面,\*10为第一正光焦度透镜330的出射面。其中,本实施例所示的光学系统中设有三十二个激光光源,对应三十二个棱镜200,从上至下,各个棱镜200的折射面与入射面之间的角度为:-11.834°、-11.109°、-10.376°、-9.634°、-8.883°、-8.123°、-7.354°、-6.579°、-5.798°、-5.101°、-4.328°、-3.566°、-2.792°、-2.011°、-1.160°、-0.430°、0.430°、1.160°、2.011°、2.792°、3.566°、4.328°、5.101°、5.798°、6.579°、7.354°、8.123°、8.883°、9.634°、10.376°、11.109°、11.834°。

[0074] 另外,\*5、\*6、\*9、\*10为非球面,非球面的面型方程如下:

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + a_1r^2 + a_2r^4 + a_3r^6 + a_4r^8 + a_5r^{10} + a_6r^{12} + a_7r^{14} + a_8r^{16}$$

[0076] 其中,z为非球面沿中心光轴方向在高度为r的位置时,距非球面顶点的距离矢高,c为非球面近轴的曲率,c=1/R,R为曲率半径,c为曲率半径的倒数,k为圆锥系数,a1为非球面第2阶系数,a2为非球面第4阶系数,a3为非球面第6阶系数,a4为非球面第8阶系数,a5为非球面第10阶系数,a6为非球面第12阶系数,a7为非球面第14阶系数,a8为非球面第16阶系数,2片非球面镜片的非球面系数如下表3:

[0077] 表3

[0078]

面号	*5	*6	*9	*10
K	79.99723	-77.67054	-44.32241	0.761694
a1	0	0	0	0
a2	-0.008150	-0.023570	-2.539369E-8	5.630642E-7
a3	0.025145	0.032768	1.106811E-8	1.068936E-8
a4	0	0	0	0
a5	0	0	0	0
a6	0	0	0	0
a7	0	0	0	0
a8	0	0	0	0

[0079] 32束准直出射的激光束与中心光轴角度分别为： $0.1545^{\circ}$ 、 $0.1447^{\circ}$ 、 $0.1348^{\circ}$ 、 $0.1250^{\circ}$ 、 $0.1150^{\circ}$ 、 $0.1050^{\circ}$ 、 $0.0949^{\circ}$ 、 $0.0846^{\circ}$ 、 $0.0744^{\circ}$ 、 $0.0656^{\circ}$ 、 $0.0556^{\circ}$ 、 $0.0459^{\circ}$ 、 $0.0360^{\circ}$ 、 $0.0260^{\circ}$ 、 $0.0147^{\circ}$ 、 $0.0058^{\circ}$ 、 $-0.0058^{\circ}$ 、 $-0.0147^{\circ}$ 、 $-0.0260^{\circ}$ 、 $-0.0360^{\circ}$ 、 $-0.0459^{\circ}$ 、 $-0.0556^{\circ}$ 、 $-0.0656^{\circ}$ 、 $-0.0744^{\circ}$ 、 $-0.0846^{\circ}$ 、 $-0.0949^{\circ}$ 、 $-0.1050^{\circ}$ 、 $-0.1150^{\circ}$ 、 $-0.1250^{\circ}$ 、 $-0.1348^{\circ}$ 、 $-0.1447^{\circ}$ 、 $-0.1545^{\circ}$ 。

[0080] 参照图9图10可知，本申请实施例中的光绪系统运用在具有多个激光光源的激光雷达上时，能够提高探测距离，而且长距离探测也能具有交到的分辨率。

[0081] 本申请还提出一种激光雷达，包括多个激光光源，以及上述任一实施例中的所述光学系统。由于本激光雷达包括了上述任一实施例中的光学系统，因此本激光雷达具有上述实施例中的光学系统的全部有益效果，在此不一一赘述。

[0082] 最后应说明的是：以上所述实施例，仅为本发明的具体实施方式，用以说明本发明的技术方案，而非对其限制，本发明的保护范围并不局限于此，尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明，本领域的普通技术人员应当理解：任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内，其依然可以对前述实施例所记载的技术方案进行修改或可轻易想到变化，或者对其中部分技术特征进行等同替换；而这些修改、变化或者替换，并不使相应技术方案的本质脱离本发明实施例技术方案的精神和范围，都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此，本发明的保护范围应所述以权利要求的保护范围为准。

[0083] 此外，尽管在附图中以特定顺序描述了本发明方法的操作，但是，这并非要求或者暗示必须按照该特定顺序来执行这些操作，或是必须执行全部所示的操作才能实现期望的结果。附加地或备选地，可以省略某些步骤，将多个步骤合并为一个步骤执行，和/或将一个步骤分解为多个步骤执行。

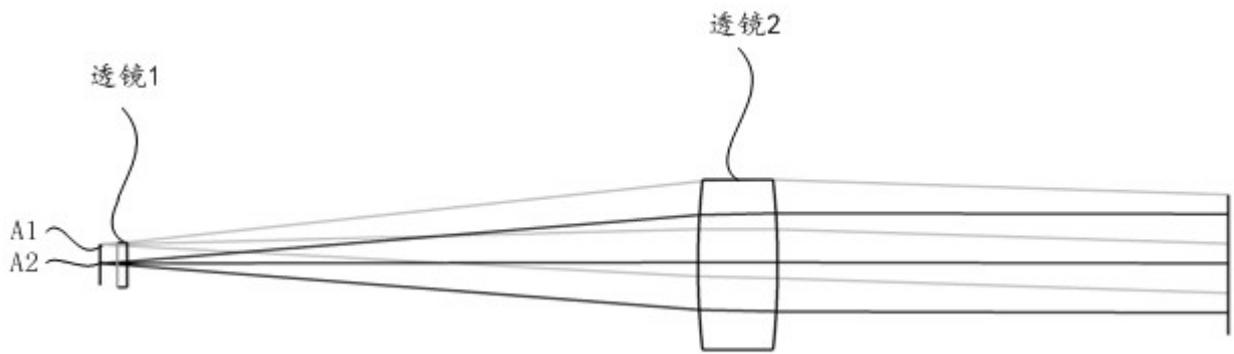


图1

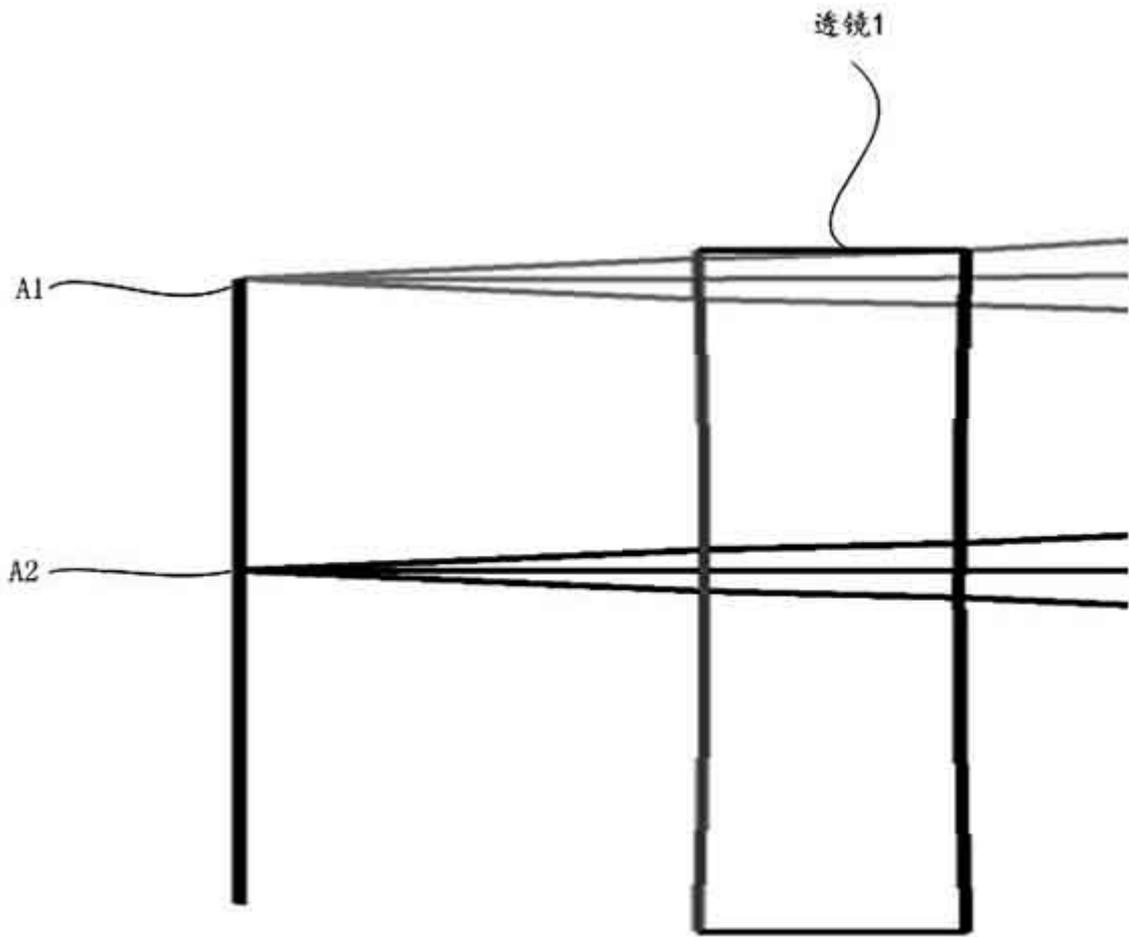


图2



图3

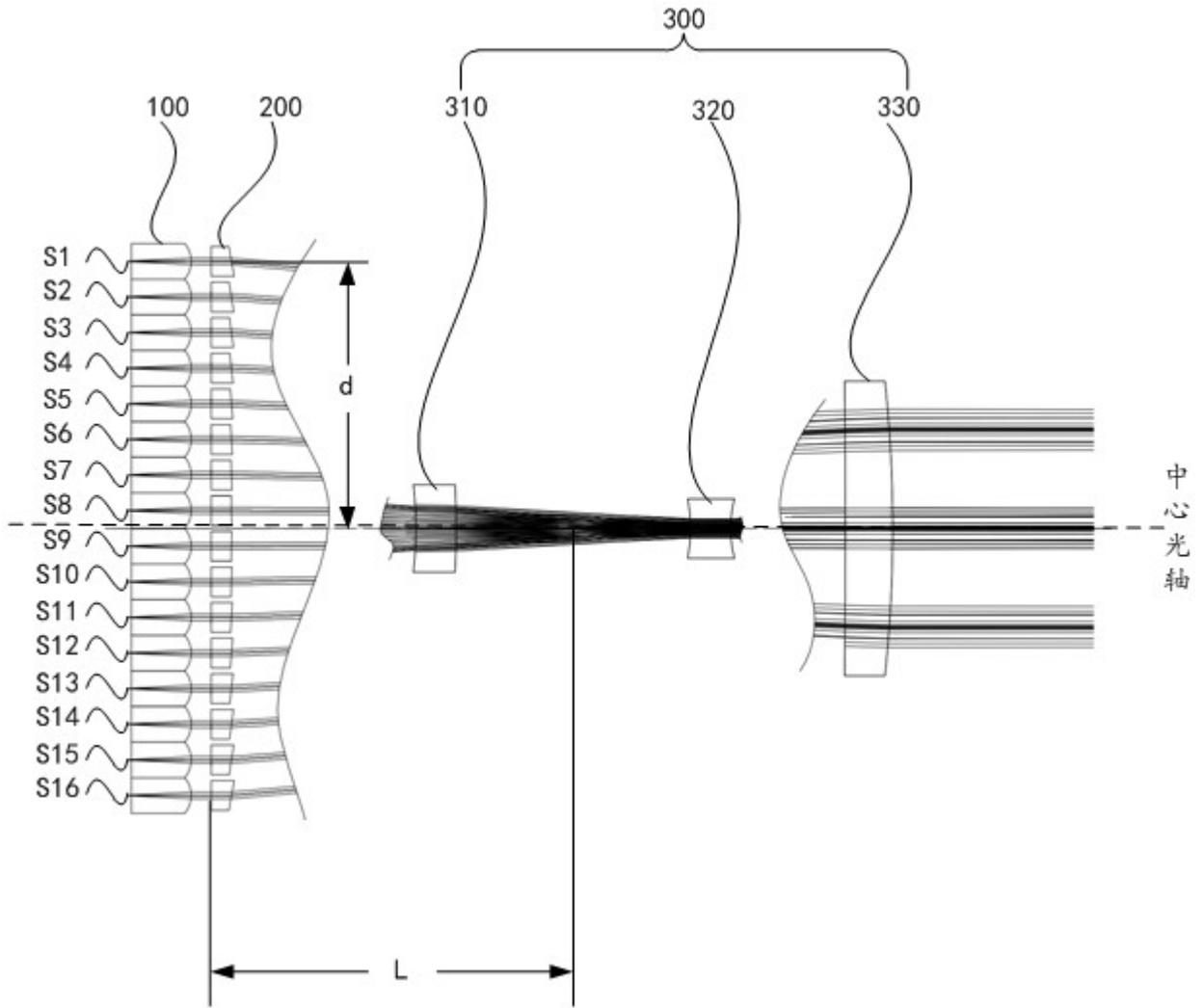


图4

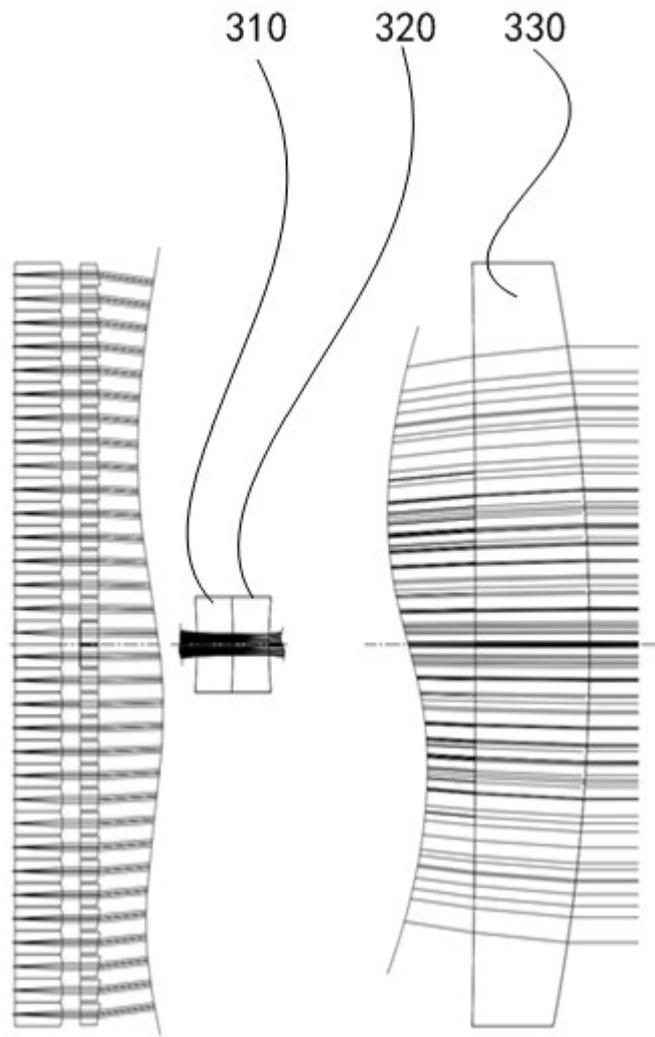


图5

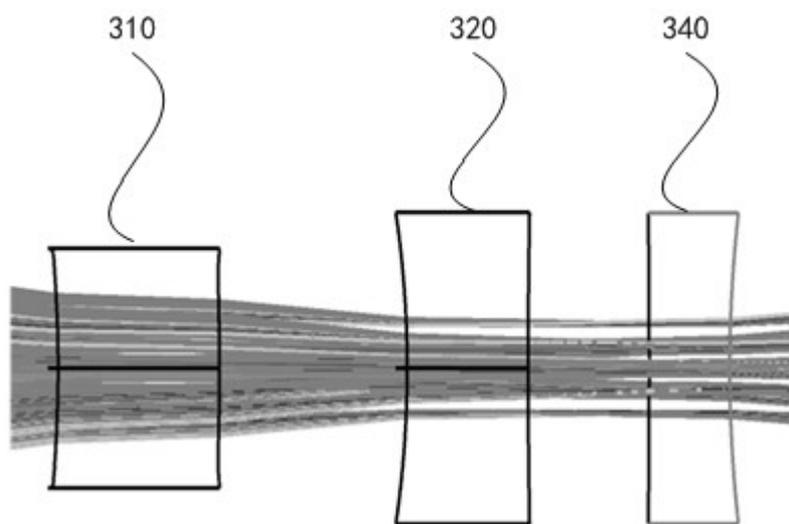


图6

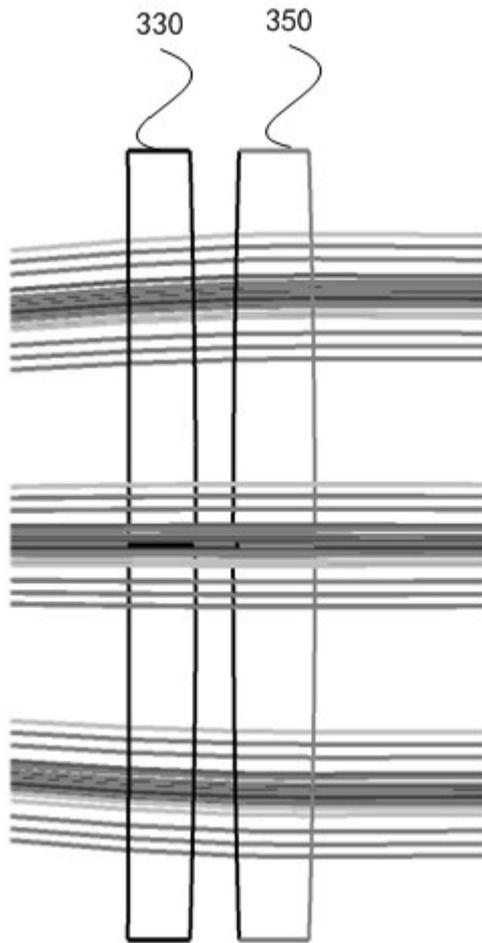


图7

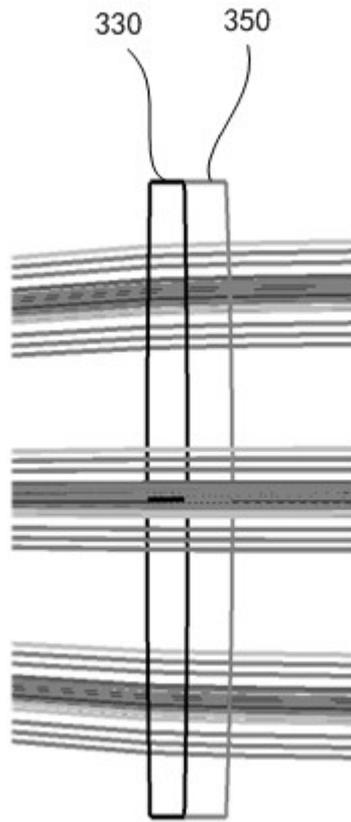


图8

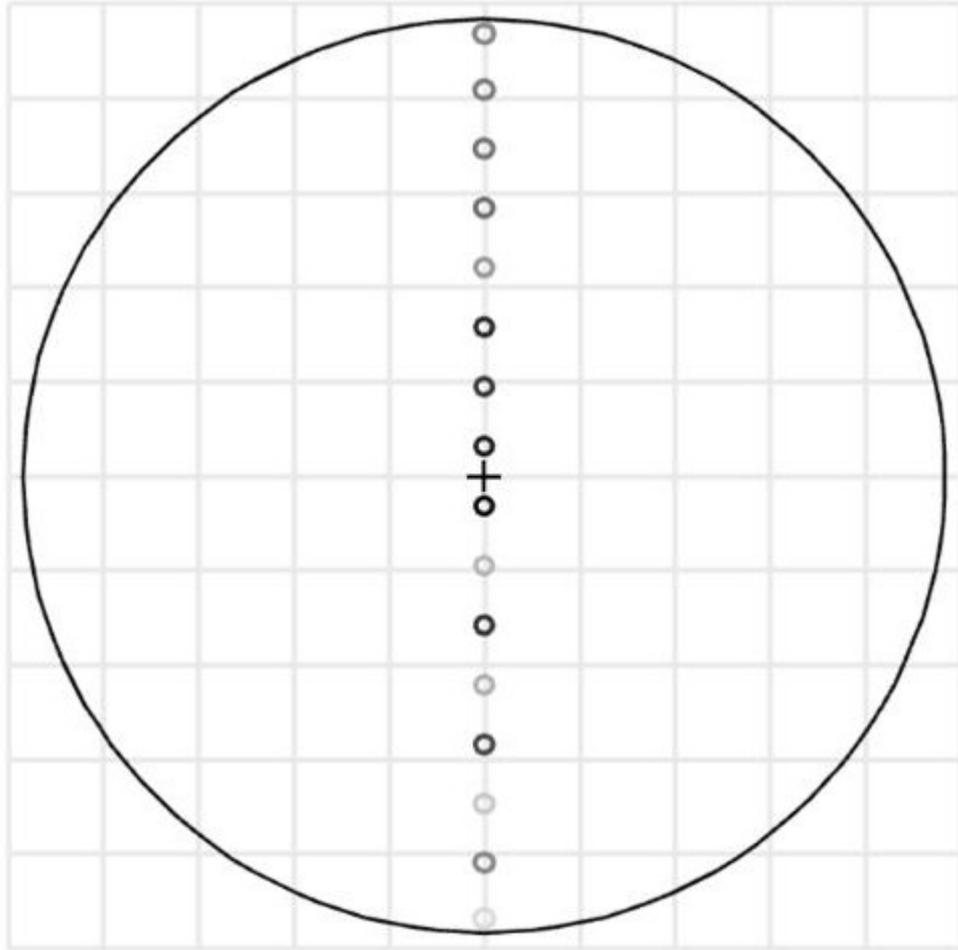


图9

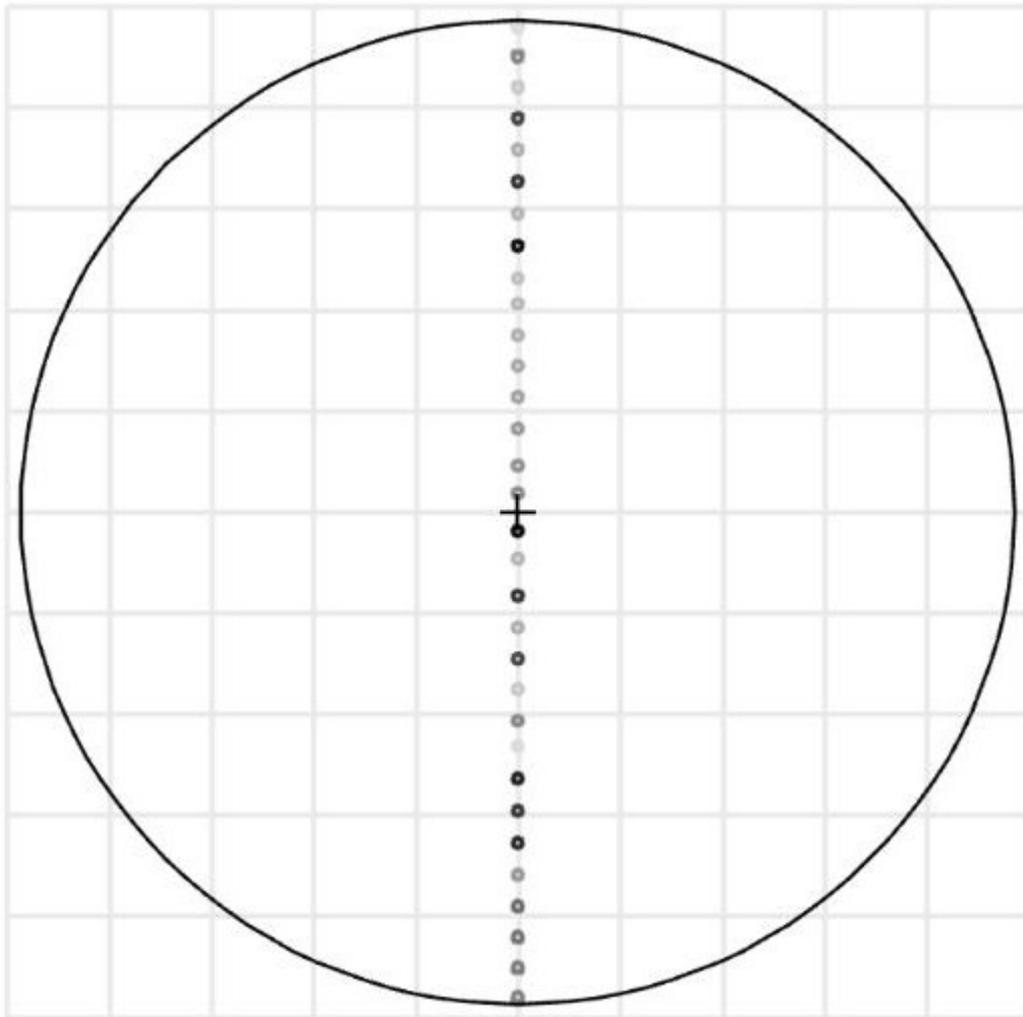


图10