



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101713639 A

(43) 申请公布日 2010.05.26

(21) 申请号 200910212710.X

(22) 申请日 2009.10.30

(71) 申请人 中国科学院国家天文台南京天文光学技术研究所

地址 210042 江苏省南京市板仓街 188 号

(72) 发明人 张勇 杨德华 李烨平

(74) 专利代理机构 南京知识律师事务所 32207
代理人 栗仲平

(51) Int. Cl.

G01B 11/24(2006.01)

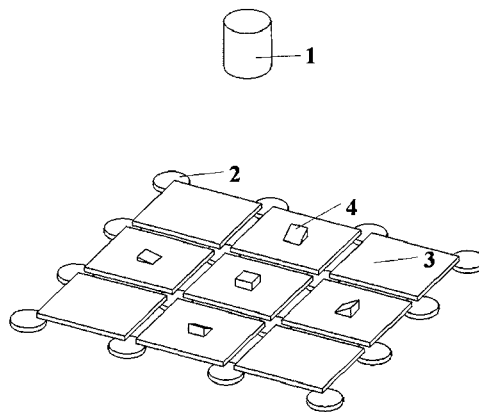
权利要求书 2 页 说明书 4 页 附图 4 页

(54) 发明名称

基于四边形子面板四点支撑的射电望远镜共相检测方法

(57) 摘要

基于四边形子面板四点支撑的射电望远镜共相检测方法：(1). 在天线中心至少一整行和一整列子面板上安置靶标；(2). 用高精度旋转跟踪扫描激光接收装置或激光发射接收装置，至少扫描天线中心一整行和一整列子面板上的靶标；并通过高精度的编码器记录激光发射装置对准不同靶标的位置；(3). 通过对与激光反射装置一起平移旋转的拼接靶面的像斑位置信息的测量处理来获得角度数据；(4). 直接推导出所有面板的位置偏差、整个拼接天线的面形精度以及需要校正该面形精度所需要的支撑点位移，即促动器的改正量。本发明针对射电望远镜抛物面天线，采用基于四边形子面板四点支撑设计，通过简单易行的工艺，造价较低地实现批量面板的实时拼接检测和调整。



1. 一种基于四边形子面板四点支撑的射电望远镜共相检测方法,其特征在于,步骤如下:

(1). 在天线中心的至少一整行和一整列的子面板上安置靶标;

(2). 利用高精度的旋转跟踪扫描激光接收装置或跟踪扫描激光发射接收装置,至少扫描天线中心的一整行和一整列的子面板上的靶标;并通过高精度的编码器记录激光发射装置对准不同靶标的位置;

(3). 通过对与激光反射装置一起平移旋转的拼接靶面的像斑位置信息的测量处理来获得这一整行和一整列的角度数据;

(4). 直接推导出所有面板的位置偏差、整个拼接天线的面形精度以及需要校正该面形精度所需要的支撑点位移促动器的改正量。

2. 根据权利要求1所述的基于四边形子面板四点支撑的射电望远镜共相检测方法,其特征在于,

所述步骤(1)中的靶标是激光发射装置,或激光反射膜,或反射镜。

3. 根据权利要求2所述的基于四边形子面板四点支撑的射电望远镜共相检测方法,其特征在于,在所述的步骤(2)中;通过增加靶面两个扫描方向的平移自由度,进一步实现步骤(3)与步骤(4)的整个拼接天线的绝对的抛物面实时检测和校正。

4. 根据权利要求1或2或3所述的基于四边形子面板四点支撑的射电望远镜共相检测方法,其特征在于,所述步骤(4)的计算是通过如下公式(1)规算出整个拼接天线的全部面板的位置和形状精度:

$$X_i = -\text{Width} * \theta_{xi}$$

$$Y_i = -\text{Height} * \theta_{yi}$$

其中 X_i ($i = -n \dots n$), Y_j ($j = -m \dots m$) 分别为中心行和中心列支撑点位置的位移促动器的改正量,此时中心一行有 $2n$ 个面板,中心一列有 $2m$ 个面板;而 θ_{xi} ($i = -n \dots n$), θ_{yj} ($j = -m \dots m$) 分别为中心行和中心列面板倾斜的误差;中心面板 ($n = m = 0$) 设为标定基准参考面板。

5. 根据权利要求4所述的基于四边形子面板四点支撑的射电望远镜共相检测方法,其特征在于,

所述的拼接靶面,是通过采用感光的光学元件,进行拼接,从而获取比常规相机更大的靶面。

6. 根据权利要求4所述的基于四边形子面板四点支撑的射电望远镜共相检测方法,其特征在于,所述的拼接靶面,是采用分别对应于测量中心行和中心列的倾斜方式拼接靶面,以简化靶面拼接。

7. 根据权利要求1或2或3所述的基于四边形子面板四点支撑的射电望远镜共相检测方法,其特征在于,

所述步骤(1)、步骤(2)和步骤(3)替换为:

(1). 在天线中心的一个直径的子面板上安置靶标;

(2). 沿着倾斜方向扫描,仅仅需要扫描一个直径的方位,每个面板能同时解算出 (X_i , Y_i);

(3). 通过对与激光反射装置一起平移旋转的拼接靶面的像斑位置信息的测量处理来

获得一个直径的角度数据。

基于四边形子面板四点支撑的射电望远镜共相检测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于四边形子面板四点支撑的射电望远镜拼接共相检测和校正方法,非常适用于射电望远镜和毫米 / 亚毫米波望远镜的射电面板的拼接共相检测和校正。

背景技术

[0002] 射电望远镜通常具有很大口径,其天线(主面板)通常由大批量小面板拼接而成,比如 65 米口径射电望远镜天线由几千块一米量级的面板拼接组成,在该射电望远镜安装和投入正式运行过程中,在重力和风力等外载的影响下,都必须保证其抛物面的整体面型在允许的范围内。除了考虑天线背架的支撑保型设计之外,大批量面板拼接检测也是射电望远镜设计和运行的关键部分。

[0003] 射电望远镜越来越要求从基于数学模型上的被动控制朝动态实时面型调整发展,这就需要一种实时检测技术,可以评估在任意天顶距下的实时面型。射电望远镜的面板检测是实时射电望远镜面板拼接的关键技术之一,而射电望远镜由于波段与光学红外望远镜不一样,其主镜(天线)的面形精度要求也相去甚远。根据衍射条件面形精度要求为二十分至一波长,亚毫米波段最短波长约 0.2 毫米,面板拼接共相的要求为二十分至一波长的均方根值,即面形精度 10 个微米。这与光学红外波段(比如可见光 550 纳米波长的 27.5 纳米的面形精度要求)放松了几百倍。通常射电望远镜在安装调试时使用上述方法,在中间天顶距 / 高度角进行面板调整及定标,使得面板精度达到二十分之一波长,在正式使用中不再对面板精度进行实时测量和调整,而只是通过望远镜的支撑设计保证。

[0004] 常见的射电望远镜面板检测和调整方法,主要有光学方法、射电全息法、激光测量方法等。其中,经纬仪、激光跟踪仪、激光全站仪、激光测距仪等等方法,在固定望远镜某种姿态下(比如面板水平朝天或者竖直朝水平)它们都是具有能检测和调整面板的能力,使得面板达到设计公差指标,主要用于面板安装后投入使用前的整体面板形状检测和标定,缺点就是繁琐、批量检测需要大批量辅助用的靶标和后向反射器、不实时;射电全息法使用同步卫星、天文或人工射电源来测量整个天线的波前,只需要利用望远镜本身的接收机(最好频率接近于天线频率上限),硬件设备要求简单,但其不实时,只能在几个高度角上进行匹配,耗时长;而其它的照相法精度只能达到 0.1 毫米,可见光波段的成像检测方法因为射电波段天线面板的相对低精度和视宁度问题,在这里也不能适用。

[0005] 常见的射电和光学望远镜面板形状有三角型和六角形两种,它们均采用三点支撑,自由度多,使用时每个面板都需要检测,存在花瓣效应。与光学望远镜的支撑要求高低不同,射电望远镜的相邻面板通常都共用一点支撑。

[0006] 上述射电望远镜反射面检测方法的共同缺点是:只适合单个或某几个高度位置的反射面检测和复核,无法在射电望远镜工作过程中实时检测和保证其在安装调整好的经过标定过的面形精度,批量化实时检测的工作量特别繁重。

发明内容

[0007] 为了克服上述天线反射面检测和调整方法的不实时和繁重的缺点,本发明针对射电望远镜抛物面天线,通过简单易行的工艺设计,造价较低地实现批量面板的实时拼接检测和调整,本发明提供一种基于四边形子面板四点支撑的射电望远镜实时拼接共相检测调整方法的设计。

[0008] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:一种基于四边形子面板四点支撑的射电望远镜共相检测方法,其特征在于,步骤如下:

[0009] (1). 在天线中心的至少一整行和一整列的子面板上安置靶标,所述的靶标可以是激光发射装置,或激光反射膜,或反射镜;

[0010] (2). 利用高精度的旋转跟踪扫描激光接收装置或跟踪扫描激光发射接收装置,至少扫描天线中心的一整行和一整列的子面板上的靶标;并通过高精度的编码器记录激光发射装置的位置(高度和方位),为整个实时的自动化扫描奠定基础;

[0011] (3). 通过对与激光反射装置一起平移旋转的拼接靶面的像斑位置信息的测量处理来获得这一整行和一整列的角度数据;

[0012] (4). 利用数学方法直接推导出所有面板的位置偏差、整个拼接天线的面形精度以及需要校正该面形精度所需要的支撑点位移促动器的改正量。

[0013] 本发明的优化方案有:

[0014] 所述步骤(1)、步骤(2)和步骤(3)替换为:

[0015] (1). 在天线中心的一个直径的子面板上安置靶标;

[0016] (2). 沿着倾斜方向扫描,仅仅需要扫描一个直径的方位,每个面板能同时解算出 (X_i, Y_i) ,同样能进行全部天线面板的检测和校正;

[0017] (3). 通过对与激光反射装置一起平移旋转的拼接靶面的像斑位置信息的测量处理来获得一个直径的角度数据。

[0018] 面板本身的精度,包括重力变形等,应该能远远高于反射面的面形精度,不在面板拼接检测考虑范围之内。本发明如图1,通过采用四边形四点支撑的面板,利用四边形面板四点支撑的特点,采用激光及其靶标装置在四边形两个边的方向进行一行和一列的扫描,在靶面处测量激光像斑与标定时期的位置偏离,从而获得每个面板的角度的改变,并反推出四边形面板支撑所需要的改正量,从而最终实现整个拼接天线的实时检测和维持校正;此外通过增加靶面两个扫描方向的平移自由度,可以进一步实现整个拼接天线的绝对的抛物面实时检测和校正。本发明创新地提出和利用了四边形面板四点支撑的激光扫描检测系统,可以轻而易举地通过对一整行和一整列的扫描,获得整个拼接天线的的面形精度。

[0019] 在天线全部面板安装标定好位置后,针对四边形面板和四点支撑的方案设计,此时只需要测量中心行和中心列上面板的倾斜角 θ ,如图2,即可通过如下公式(1)规算出整个拼接天线的全部面板的位置和形状精度。

$$[0020] \quad X_i = -\text{Width} * \theta_{xi}$$

$$[0021] \quad Y_i = -\text{Height} * \theta_{yj} \quad (1)$$

[0022] 其中 $X_i (i = -n \dots n)$, $Y_j (j = -m \dots m)$ 分别为中心行和中心列支撑点位置的位移促动器的改正量,此时中心一行有 $2n$ 个面板,中心一列有 $2m$ 个面板;而 $\theta_{xi} (i = -n \dots n)$, $\theta_{yj} (j = -m \dots m)$ 分别为中心行和中心列面板倾斜的误差;心面板($n = m = 0$) 设为标定

基准参考面板。

[0023] 对于激光扫描系统而言,如图 3 和图 4,可以设计成激光器与靶面在一起跟踪扫描,进行水平方向和竖直方向上的扫描,每个面板上的靶标反射镜经过调整使得光斑返回靶面;靶面系统通过高精度的传感器记录每个面板上平面镜的位置(高度、方位角和平移),以便运行过程中自动实时扫描。当然对于激光发射装置也可以采用普通的激光笔类似器件,每个面板上安放,并调整使得激光能到达靶面,通过控制当前面板上激光开和其它面板激光关和靶面扫描系统,来实现逐行逐列检测。

[0024] 为了匹配几十米距离普通激光可能的发散效果,可以采用拼接靶面如图 5 的方法,通过采用感光的光学元件,进行拼接,从而获取比常规相机更大的靶面。此外,为了简化靶面拼接,也可以采用如图 6 的拼接靶面,分别对应于测量中心行和中心列的倾斜。靶面系统如果比较大,而且采用每个面板上放置激光发射器件,则靶面系统无需进行扫描,固定静止即可。至于靶面上圆型像斑的位置,可以通过二阶距、重心法甚至根据光斑形状即可计算求得。

[0025] 靶面设计分析,比如 50 米亚毫米波望远镜,波长最短为 0.2 毫米(波长越长要求越低),共相要求天线面形精度均方根值为二十分之一波长,即 10 个微米。假设天线曲率半径为 50 米,面板大小一米量级,则 10 个微米的高低,对应于 2 角秒的倾斜角,对旋转扫描的编码器的角度精度要求也很低,1 秒量级即可;而在经过 50 米的光路之后,引起的光斑位置偏差为 500 个微米,即 0.5 毫米。如果直接采用 CCD 为靶面或者 CMOS 为靶面的相机,通常情况下至少可以获得十分之一像元的心二阶矩定位精度,而此类相机像元仅仅是微米量级,肯定远远高于精度要求,只是测量范围偏小。如果采用拼接感光元件仍然能保证十分之一的定位精度(单位为感光元件大小),则感光元件的大小可以为 0.5 毫米*10,即 5 个毫米。对于激光器与靶面一起进行跟踪扫描的系统,光路长度加倍,此时感光单元的大小可以加倍为 10 毫米,此类元件不难实现。

[0026] 本发明具有对天线全部面板的扫描和检测的能力。尽管因为只需要扫描中心行列的面板,并测量其角度偏离,高精度旋转机构,可以分开实现,分别实现行的扫描和列的扫描,以简化系统设计。

[0027] 上述说明了本发明在天线面板安装调试成理论的抛物面之后,通过相对的支撑点的高低位置校正,能成功地保持和维持该标定的抛物面形状及其精度。为了进一步地实现绝对的抛物面校正,需要靶面处在两个旋转自由度之外增加两个互相垂直方向的位置自由度,这两个方向与面板的两个边的方向一致。因为在抛物面的曲率中心进行测量,抛物面因为其球差的影响,在每个面板靶标对应位置相对于最接近球面会有法线偏离,该法线偏离对于检测靶面而言,会产生位置上的平移。通过上述增加的位置平移自由度,即靶面可以沿着面板探测方向进行平移,以消除该探测面板位置处球差带来的法线偏差的影响。该平移自由度的平移机构通过增加位移传感机构其精度会很容易保证,面板上的靶标也很简单,只要检测位置处贴上反射膜即可。

[0028] 当然为了节省扫描次数及其相关成本,也可以沿着倾斜方向扫描,仅仅需要扫描一个直径的方位,每个面板能同时解算出 (X_i, Y_i) ,同样能进行全部天线面板的检测和校正。区别只是两个方向分开检测和同时检测而已,精度并无差异,当然对于绝对抛物面检测和校正,消除球差引起的效率误差,倾斜方向扫描误差会稍稍大些,实现也难一些;此外倾

斜扫描需要在面板上而不是面板边缘安装靶标,估计比较困难。所以通常倾向于靶标安装在面板分析上的行列分别扫描。

[0029] 本发明的有益效果是,提供了一种新颖便宜易行的一种基于四边形子面板四点支撑的射电望远镜实时拼接检测和校正方法方案,非常适用于射电望远镜和毫米/亚毫米波望远镜的射电面板的拼接检测。利用几何光学扫描原理,通过建议的工艺方法实现了对射电望远镜拼接天线的面板检测和校正。原理明了,结构简单,成本低廉。由于采用了拼接面板和拼接靶面,可以实现实时的面板检测和实时的补偿改正,对于由传统的射电望远镜的被动式天线面板走向实时的主动式面板,提高和实时保证了射电望远镜的性能和精度,实施工艺简单,减小了劳动强度,进而降低了造价。

附图说明

[0030] 图 1 检测配置系统光路示意图;

[0031] 图 2 四边形面板求解示意图(只要中心行和中心列的偏差 X_i 和 Y_i 检测确定,即面形解确定);

[0032] 图 3 多激光器的激光扫描系统示意图(绝对天线抛物面校正需要增加靶面平移自由度);

[0033] 图 4 单激光器的激光扫描系统示意图(绝对天线抛物面校正需要增加靶面平移自由度);

[0034] 图 5 拼接大靶面示意图(感光小元件拼接);

[0035] 图 6 行列拼接靶面示意图。

具体实施方式

[0036] 实施例 1,基于四边形子面板四点支撑的实时射电望远镜拼接共相检测方法,在图 1 中,天线检测系统包含激光扫描系统 1、每个面板的四点支撑 2、被检测的四边形面板 3 和靶标系统 4;图 2 和图 3 两种激光扫描系统分别对应于单激光器和多激光束系统,其中图 3 包括:拼接天线 5、激光发射 6、高精度旋转扫描靶面支撑机构 7、靶面 8 和可调平面反射镜靶标 9;图 5 和图 6 分别为两种拼接靶面设计方案,图 6 为简化的两个扫描方向的靶面设计。

[0037] 固定于曲率中心的可旋转跟踪扫描的靶面系统,激光和靶标系统可以是只有多个简易可调倾斜的激光发射的系统,安装在的面板上;或者分开放置:激光发射只有一个,与靶面一起可以旋转跟踪扫描,面板上放置可调倾斜的小平面反射镜靶标,把激光反射回靶面。如果需要进行绝对的抛物面天线检测校正,而不是仅仅基于安装调试定标好的抛物面形状,需要靶面机构增加垂直光轴的两个平移自由度,通过这两个平移自由度,主动地消除抛物面曲率中心处相对于最接近球面的斜率偏差。面板上无论防止靶标还是小平面反射镜,都需要可调使得激光能达到靶面上。测量出倾斜之后,即可通过公式(1)反推出所有支撑点促动器的改正量以及面形精度。

[0038] 实施例 2,与实施例 1 基本相同,但是所述步骤(1)、步骤(2)和步骤(3)替换为:(1). 在天线中心的一个直径的子面板上安置靶标;(2). 沿着倾斜方向扫描,仅仅需要扫描一个直径的方位,每个面板能同时解算出 (X_i, Y_i) ;(3). 通过对与激光反射装置一起平移旋转的拼接靶面的像斑位置信息的测量处理来获得一个直径的角度数据。

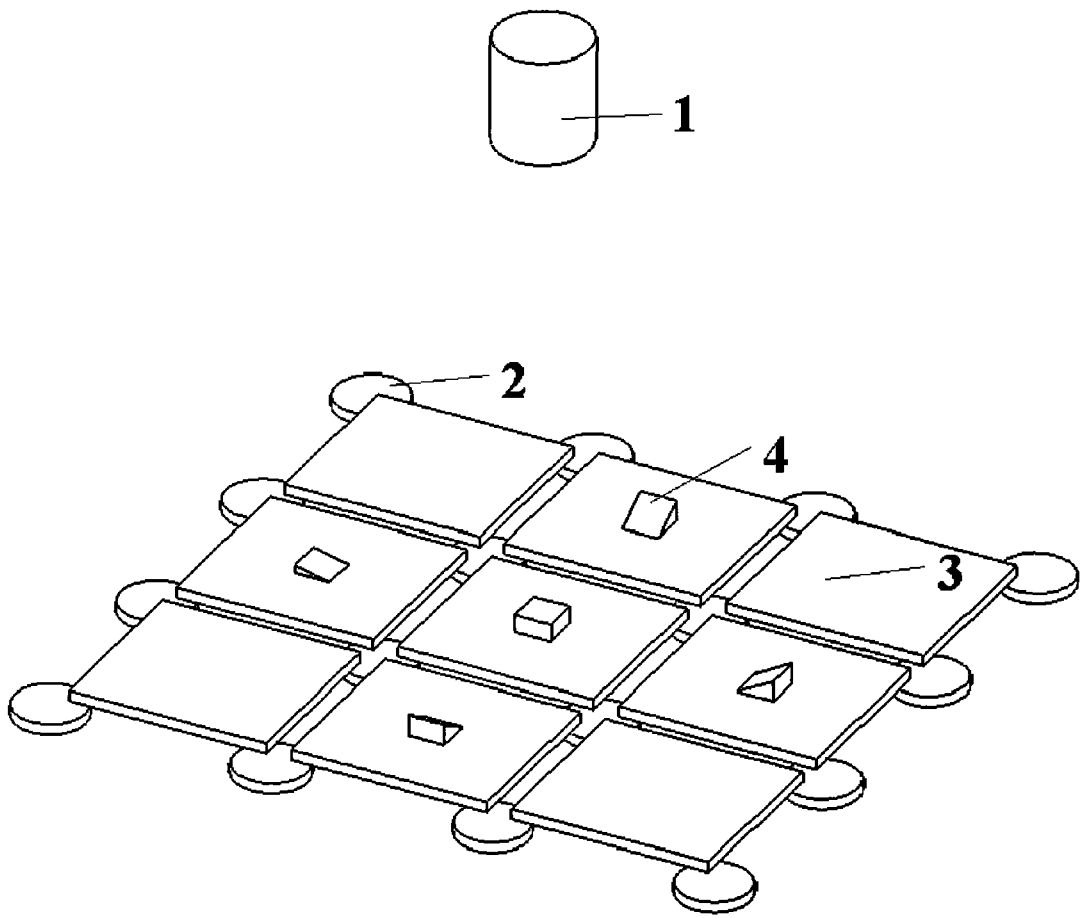


图 1

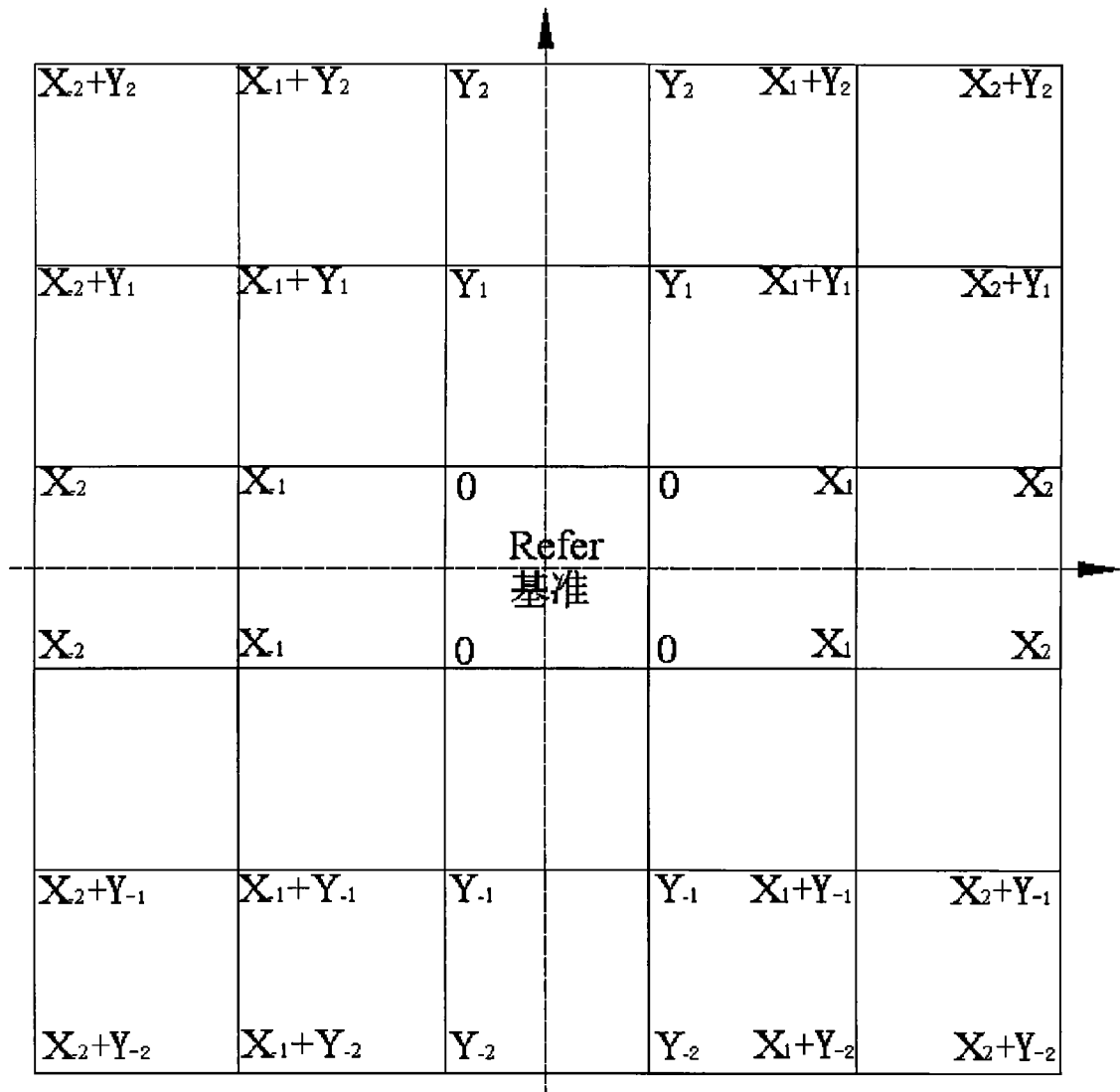


图 2

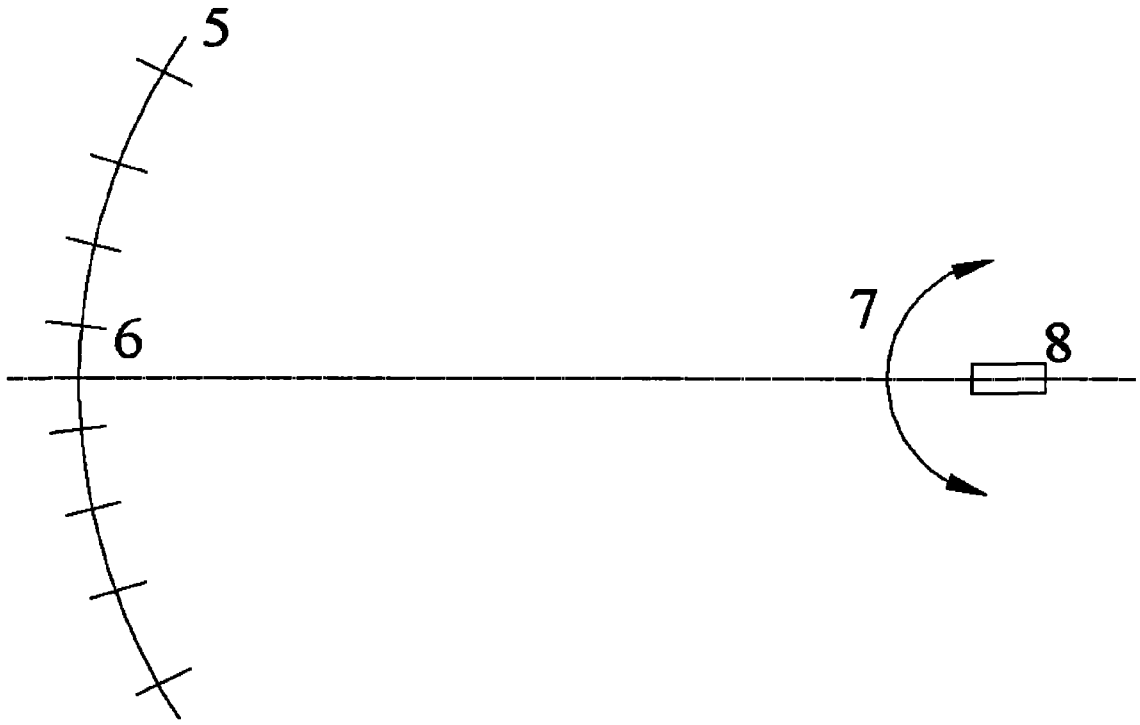


图 3

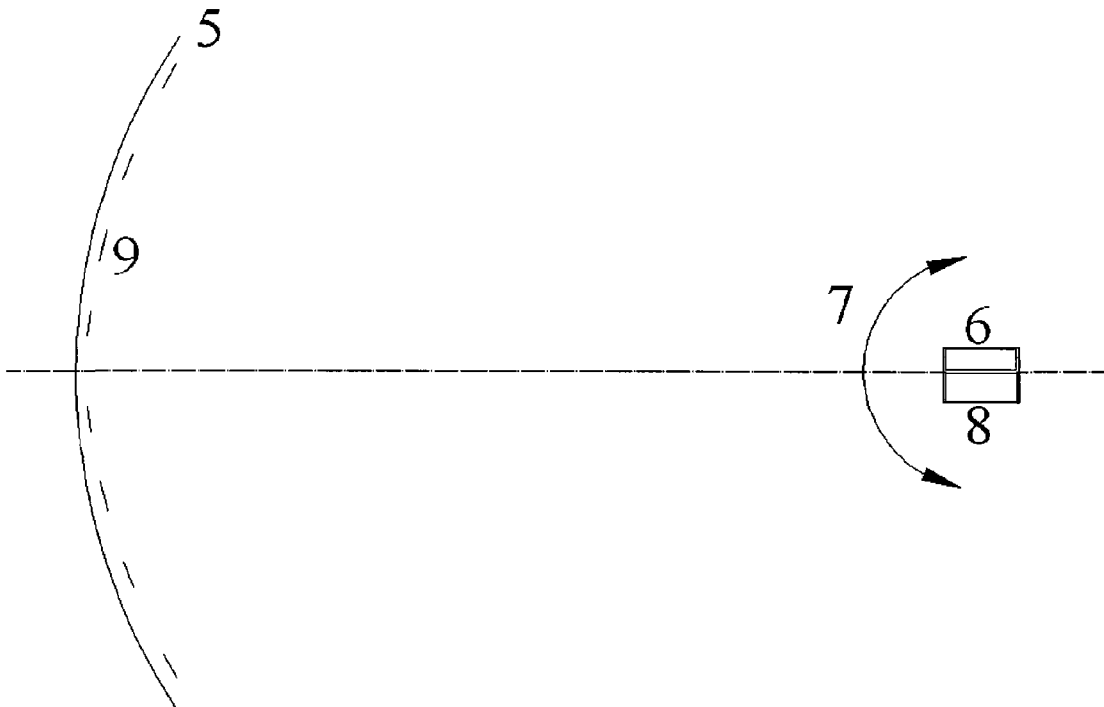


图 4

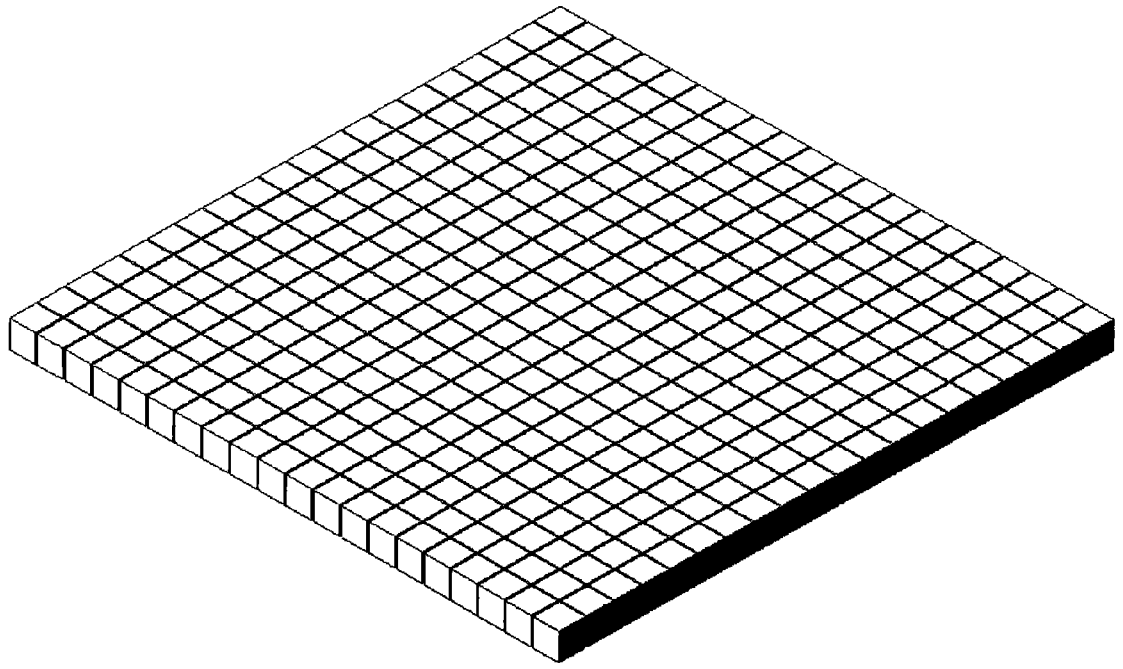


图 5

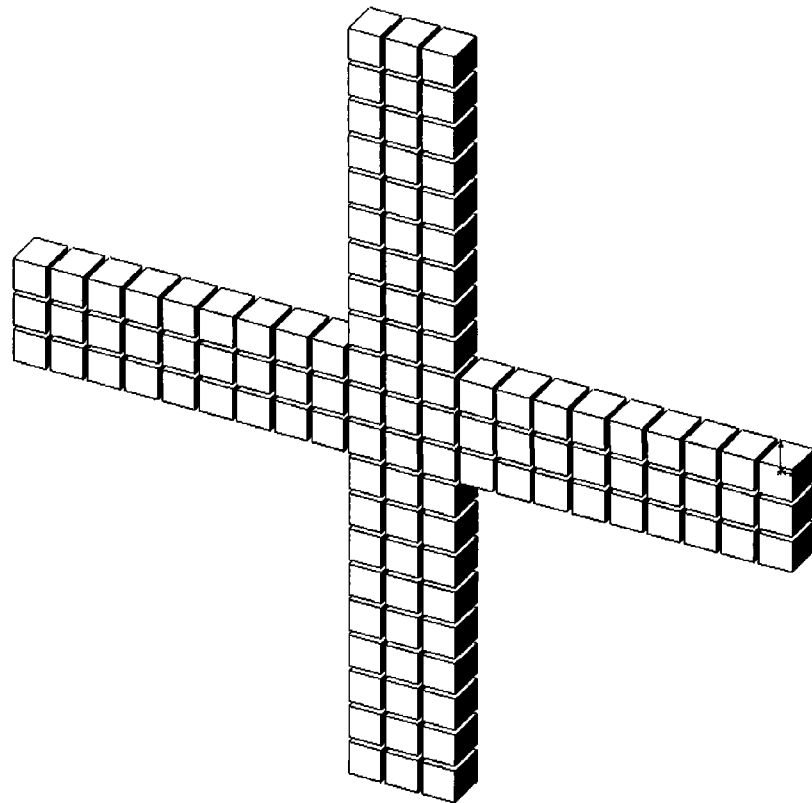


图 6