



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109656195 B

(45) 授权公告日 2020.09.22

(21) 申请号 201811548003.3

(22) 申请日 2018.12.18

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109656195 A

(43) 申请公布日 2019.04.19

(73) 专利权人 清华大学
地址 100084 北京市海淀区清华园1号

(72) 发明人 张建富 冯平法 李思觅 郁鼎文
吴志军

(74) 专利代理机构 北京德琦知识产权代理有限公司 11018
代理人 陈舒维 宋志强

(51) Int. Cl.
G05B 19/401 (2006.01)
G05B 19/404 (2006.01)

(56) 对比文件

- CN 105136031 A, 2015.12.09
- CN 103134451 A, 2013.06.05
- CN 101354230 A, 2009.01.28
- CN 107246852 A, 2017.10.13
- JP 2006263803 A, 2006.10.05
- CN 107234487 A, 2017.10.10
- CN 106524905 A, 2017.03.22
- CN 103447884 A, 2013.12.18
- 贝广霞. 精密加工中圆柱度在机检测关键技术. 《山东大学学报》. 2007,
- 李小力. 数控机床综合几何误差的. 《中国博士学位论文全文数据库 工程科技I辑》. 2008,
- 审查员 刘东旭

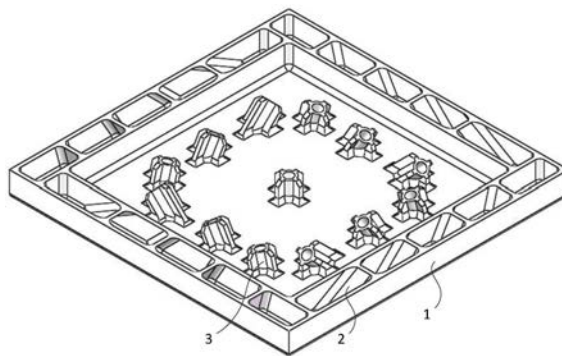
权利要求书2页 说明书9页 附图7页

(54) 发明名称

机床原位检测系统的综合误差标定装置及方法

(57) 摘要

本发明提供一种机床原位检测系统的误差标定装置和方法。该装置包括：底板；测量板样本集合，所述测量板样本集合安装于所述底板；测量筒样本集合，所述测量筒样本集合安装于所述底板；其中，所述测量板样本集合中的多个测量板呈互不相同的倾斜角度，所述测量筒样本集合中的多个测量筒的轴线倾斜角度互不相同。本发明的机床原位检测系统误差标定装置具有预先设置的多个倾斜测量面和倾斜测量内孔，为原位检测系统的标定提供不同倾斜角度的参考面，并且该装置结构紧凑，占用体积小。



1. 一种机床原位检测系统的综合误差标定装置,其特征在于,包括:
底板(1);
测量板样本集合(2),所述测量板样本集合(2)安装于所述底板(1);
测量筒样本集合(3),所述测量筒样本集合(3)安装于所述底板(1);
其中,所述测量板样本集合(2)中的多个测量板呈互不相同的倾斜角度,所述测量筒样本集合(3)中的多个测量筒的轴线倾斜角度互不相同。
2. 根据权利要求1所述的综合误差标定装置,其特征在于,所述测量板样本集合(2)包括用于与底板(1)共同限定三维坐标系的第一样本子集、以及用于在所述三维坐标系中提供倾斜角度不同的多个测量面的第二样本子集。
3. 根据权利要求2所述的综合误差标定装置,其特征在于,所述第一样本子集包括垂直设置的第一测量板(201)和第二测量板(202),并且所述第一测量板(201)和所述第二测量板(202)的布置方向相互垂直。
4. 根据权利要求3所述的综合误差标定装置,其特征在于,所述第二样本子集中的一部分与所述第二测量板(202)的测量面垂直并与所述第一测量板(201)的测量面倾斜设置,所述第二样本子集中的另一部分与所述第一测量板(201)的测量面垂直并与所述第二测量板(202)的测量面倾斜设置。
5. 根据权利要求4所述的综合误差标定装置,其特征在于,所述第二样本子集包括:
与所述第二测量板(202)的测量面垂直并与所述第一测量板(201)的测量面分别呈 30° 、 45° 、 60° 、 75° 、 105° 、 120° 、 135° 和 150° 倾斜设置的第三测量板(203)、第四测量板(204)、第五测量板(205)、第六测量板(206)、第七测量板(207)、第八测量板(208)、第九测量板(209)和第十测量板(210);
与所述第一测量板(201)的测量面垂直并与所述第二测量板(202)的测量面分别呈 30° 、 45° 、 60° 、 75° 、 105° 、 120° 、 135° 和 150° 倾斜设置的第十一测量板(211)、第十二测量板(212)、第十三测量板(213)、第十四测量板(214)、第十五测量板(215)、第十六测量板(216)。
6. 根据权利要求3所述的综合误差标定装置,其特征在于,
所述测量筒样本集合(3)包括:提供轴线与底板(1)垂直的筒状内壁面的第三样本子集和提供轴线倾斜角度不同的多个筒状内壁面的第四样本子集。
7. 根据权利要求6所述的综合误差标定装置,其特征在于,所述第四样本子集的一部分的轴线与所述第二测量板(202)的测量面平行并与所述第一测量板(201)的测量面倾斜;
所述第四样本子集的另一部分的轴线与所述第一测量板(201)的测量面平行并与所述第二测量板(202)的测量面倾斜。
8. 根据权利要求7所述的综合误差标定装置,其特征在于,所述第三样本子集包括轴线与所述底板(1)垂直的第一测量筒(301);
所述第四样本子集包括轴线与所述第二测量板(202)的测量面平行并与所述第一测量板(201)的测量面呈 45° 、 60° 、 75° 、 105° 、 120° 和 135° 倾斜设置的第二测量筒(302)、第三测量筒(303)、第四测量筒(304)、第五测量筒(305)、第六测量筒(306)和第七测量筒(307);
轴线与所述第一测量板(201)的测量面平行并与所述第二测量板(202)的测量面呈 45° 、 60° 、 75° 、 105° 、 120° 和 135° 倾斜设置的第八测量筒(308)、第九测量筒(309)、第十测量

筒(310)、第十一测量筒(311)、第十二测量筒(312)和第十三测量筒(313)。

9. 一种机床原位检测系统的综合误差标定方法,其特征在于,包括:

驱动机床原位检测系统在如权利要求1-8中任一所述的综合误差标定装置进行多测量点的坐标测量,其中,所述多测量点包括在所述测量板样本集合(2)提供的测量面测量得到的多个测量点、以及在所述测量筒样本集合(3)提供的筒状内壁面测量得到的多个测量点;

基于多测量点的测量坐标进行平面拟合以及圆柱面拟合、并计算平面度和圆柱度;

驱动三坐标测量机测量在如权利要求1-8中任一所述的综合误差标定装置获取所述多测量点的标准坐标;

基于所述多测量点的标准坐标进行平面拟合以及圆柱面拟合、并计算平面度和圆柱度;

将测量坐标与标准坐标进行比对,并将基于测量坐标计算得到的平面度和圆柱度与基于标准坐标计算得到的平面度和圆柱度进行比对,以确定误差;

将确定的误差评价作为评价参数评价机床原位检测系统综合误差。

10. 根据权利要求9所述的综合误差标定方法,其特征在于,所述测量板样本集合(2)的测量面的坐标点包括:机床主轴在所述测量面的多个均布测量点所测得的坐标点。

11. 根据权利要求10所述的综合误差标定方法,其特征在于,所述测量筒样本集合(3)的筒状内壁面的多个测量点包括沿轴向两个不同位置点的截面与内壁面交线处所测的测量点,每个交线处测量点包括:所述主轴在所述交线处的多个均布测量点所测得的坐标点。

机床原位检测系统的综合误差标定装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及机床数控加工领域,特别涉及一种机床原位检测系统的综合误差标定装置及方法。

背景技术

[0002] 机床原位检测系统是在五轴加工中心上加装测头,在不移动工件的前提下对工件的加工精度进行测量。这种测量方法可以消除二次装夹误差,对于难移动的大型工件或者刚性差的结构件,可以减小拆卸后工件产生的形变。

[0003] 机床原位检测系统的误差主要来源为测头误差、机床直线轴定位误差、机床旋转轴定位误差、机床运动误差、热误差等。为了保证原位检测系统的精度,在应用原位检测系统测量工件之前,必须对原位检测系统进行标定和补偿,标定之后的原位检测系统的精度仍需要进行评价。

发明内容

[0004] 为了解决以上技术问题,本发明提供一种机床原位检测系统的综合误差标定装置,该装置包括:

[0005] 底板;

[0006] 测量板样本集合,所述测量板样本集合安装于所述底板;

[0007] 测量筒样本集合,所述测量筒样本集合安装于所述底板;

[0008] 其中,所述测量板样本集合中的多个测量板呈互不相同的倾斜角度,所述测量筒样本集合中的多个测量筒的轴线倾斜角度互不相同。

[0009] 可选地,测量板样本集合包括用于与底板共同限定三维坐标系的第一样本子集、以及用于在三维坐标系中提供倾斜角度不同的多个测量面的第二样本子集。

[0010] 可选地,第一样本子集包括垂直设置的第一测量板和第二测量板,并且第一测量板和第二测量板的布置方向相互垂直。

[0011] 可选地,第二样本子集中的一部分与所述第二测量板的测量面垂直并与所述第一测量板的测量面倾斜设置,所述第二样本子集中的另一部分与所述第一测量板的测量面垂直并与所述第二测量板的测量面倾斜设置。

[0012] 可选地,第二子集包括:

[0013] 与所述第二测量板的测量面垂直并与所述第一测量板的测量面分别呈 30° 、 45° 、 60° 、 75° 、 105° 、 120° 、 135° 和 150° 倾斜设置的第三测量板、第四测量板、第五测量板、第六测量板、第七测量板、第八测量板、第九测量板和第十测量板;

[0014] 与所述第一测量板的测量面垂直并与所述第二测量板的测量面分别呈 30° 、 45° 、 60° 、 75° 、 105° 、 120° 、 135° 和 150° 倾斜设置的第十一测量板、第十二测量板、第十三测量板、第十四测量板、第十五测量板、第十六测量板。

[0015] 可选地,测量筒样本集合包括:提供轴线与底板垂直的筒状内壁面的第三样本子

集和提供轴线倾斜角度不同的多个筒状内壁面的第四样本子集。

[0016] 可选地,第四样本子集的一部分的轴线与所述第二测量板的测量面平行并与所述第一测量板的测量面倾斜;

[0017] 所述第四样本子集的另一部分的轴线与所述第一测量板的测量面平行并与所述第二测量板的测量面倾斜。

[0018] 可选地,第三样本子集包括:

[0019] 轴线与所述底板垂直的第一测量筒;

[0020] 轴线与所述第二测量板的测量面平行并与所述第一测量板的测量面呈 45° 、 60° 、 75° 、 105° 、 120° 和 135° 倾斜设置的第二测量筒、第三测量筒、第四测量筒、第五测量筒、第六测量筒和第七测量筒;

[0021] 轴线与所述第一测量板的测量面平行并与所述第二测量板的测量面呈 45° 、 60° 、 75° 、 105° 、 120° 和 135° 倾斜设置的第八测量筒、第九测量筒、第十测量筒、第十一测量筒、第十二测量筒和第十三测量筒。

[0022] 本发明的实施例还提供了一种机床原位检测系统的综合误差标定方法,包括:

[0023] 驱动机床原位检测系统在上述的综合误差标定装置进行多测量点的坐标测量,其中,所述多测量点包括在所述测量板样本集合提供的测量面测量得到的多个测量点、以及在所述测量筒样本集合提供的筒状内壁面测量得到的多个测量点;

[0024] 基于多测量点的测量坐标进行平面拟合以及圆柱面拟合、并计算平面度和圆柱度;

[0025] 驱动三坐标测量机测量在上述的综合误差标定装置获取所述多测量点的标准坐标;

[0026] 基于所述多测量点的标准坐标进行平面拟合以及圆柱面拟合、并计算平面度和圆柱度;

[0027] 将测量坐标与标准坐标进行比对,并将基于测量坐标计算得到的平面度和圆柱度与基于标准坐标计算得到的平面度和圆柱度进行比对,以确定误差;

[0028] 将确定的误差作为评价参数评价机床原位检测系统综合误差。

[0029] 可选地,测量板样本集合的测量面的坐标点包括:所述主轴在所述测量面的多个均布测量点所测得的坐标点。

[0030] 可选地,所述测量筒样本集合的筒状内壁面的多个测量点包括沿轴向两个不同位置点的截面与内壁面交线处所测的测量点,每个交线处测量点包括:所述主轴在所述交线处的多个均布测量点所测得的坐标点。

[0031] 由以上技术方案可知,本发明的机床原位检测系统的综合误差标定装置具有预先设置的多个倾斜测量面和倾斜测量内孔,为原位检测系统的标定提供不同倾斜角度的参考面,并且该装置结构紧凑,占用体积小。

附图说明

[0032] 以下附图仅对本发明做示意性说明和解释,并不限定本发明的范围。

[0033] 图1为本发明实施例的机床原位检测系统的综合误差标定装置示意图。

[0034] 图2为本发明实施例的机床原位检测系统的综合误差标定装置俯视图。

- [0035] 图3为图2中A向示意图。
- [0036] 图4为图2中B向示意图。
- [0037] 图5为图2中C向示意图。
- [0038] 图6为图2中D向示意图。
- [0039] 图7为图2中E向示意图。
- [0040] 图8为图2中F向示意图。
- [0041] 图9为图2中G向示意图。
- [0042] 图10为图2中H向示意图。
- [0043] 其中,1-底板;
- [0044] 2-测量板;
- [0045] 3-测量筒;
- [0046] 201-第一测量板、202-第二测量板、203-第三测量板、204-第四测量板、205-第五测量板、206-第六测量板、207-第七测量板、208-第八测量板、209-第九测量板、210-第十测量板、
- [0047] 211-第十一测量板、212-第十二测量板、213-第十三测量板、214-第十四测量板、215-第十五测量板、216-第十六测量板、217-第十七测量板、218-第十八测量板;
- [0048] 301-第一测量筒、302-第二测量筒、303-第三测量筒、304-第四测量筒、305-第五测量筒、306-第六测量筒、307-第七测量筒、308-第八测量筒、309-第九测量筒、310-第十测量筒、311-第十一测量筒、312-第十二测量筒、313-第十三测量筒;
- [0049] α_1 -第三测量板与底板的夹角、 α_2 -第四测量板与底板的夹角、 α_3 -第五测量板与底板的夹角、 α_4 -第六测量板与底板的夹角、 α_5 -第七测量板与底板的夹角、 α_6 -第八测量板与底板的夹角、 α_7 -第九测量板与底板的夹角、 α_8 -第十测量板与底板的夹角、 α_9 -第十一测量板与底板的夹角、 α_{10} -第十二测量板与底板的夹角、 α_{11} -第十三测量板与底板的夹角、 α_{12} -第十四测量板与底板的夹角、 α_{13} -第十五测量板与底板的夹角、 α_{14} -第十六测量板与底板的夹角、 α_{15} -第十七测量板与底板的夹角、 α_{16} -第十八测量板与底板的夹角;
- [0050] β_1 -第二测量筒的轴线与底板的夹角、 β_2 -第三测量筒的轴线与底板的夹角、 β_3 -第四测量筒的轴线与底板的夹角、 β_4 -第五测量筒的轴线与底板的夹角、 β_5 -第六测量筒的轴线与底板的夹角、 β_6 -第七测量筒的轴线与底板的夹角、 β_7 -第八测量筒的轴线与底板的夹角、 β_8 -第九测量筒的轴线与底板的夹角、 β_9 -第十测量筒的轴线与底板的夹角、 β_{10} -第十一测量筒的轴线与底板的夹角、 β_{11} -第十二测量筒的轴线与底板的夹角、 β_{12} -第十三测量筒的轴线与底板的夹角。

具体实施方式

[0051] 为了对发明的技术特征、目的和效果有更加清楚的理解,现对照附图说明本发明的具体实施方式,在各图中相同的标号表示相同的部分。

[0052] 在本文中,“示意性”表示“充当实例、例子或说明”,不应将在本文中被描述为“示意性”的任何图示、实施方式解释为一种更优选的或更具优点的技术方案。

[0053] 为使图面简洁,各图中的只示意性地表示出了与本发明相关部分,而并不代表其作为产品的实际结构。另外,以使图面简洁便于理解,在有些图中具有相同结构或功能的部

件,仅示意性地绘示了其中的一个,或仅标出了其中的一个。

[0054] 在本文中,“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”等仅用于表示相关部分之间的相对位置关系,而非限定这些相关部分的绝对位置。

[0055] 在本文中,“第一”、“第二”等仅用于彼此的区分,而非表示重要程度及顺序、以及互为存在的前提等。

[0056] 在本文中,“相等”、“相同”等并非严格的数学和/或几何学意义上的限制,还包含本领域技术人员可以理解的且制造或使用等允许的误差。除非另有说明,本文中的数值范围不仅包括其两个端点内的整个范围,也包括含于其中的若干子范围。

[0057] 为了解决现有技术中机床原位检测系统的误差无法标定的技术问题,如图1-图10所示,本发明的实施例提供了一种机床原位检测系统的综合误差标定装置,包括:

[0058] 底板1,底板1具有上表面和下表面;

[0059] 测量板样本集合2,测量板样本集合2安装于底板1,具体测量板样本集合2可以是固定在底板1的上表面,也可以是一体式;

[0060] 测量筒样本集合3,测量筒样本集合3安装于底板1,具体测量筒样本集合3可以是固定在底板1的上表面,也可以是一体式;

[0061] 其中,测量板样本集合2中的多个测量板呈互不相同的倾斜角度,测量筒样本集合3中的多个测量筒的轴线倾斜角度互不相同,即测量板样本集合2提供了不同倾斜角度的测量面,测量筒样本集合3提供不同倾斜角度的内孔。

[0062] 为了保证原位检测系统的精度,在应用原位检测系统测量工件之前,必须对原位检测系统进行标定和补偿,标定之后的原位检测系统的精度仍需要进行评价,但现有技术中并没有专门用于标定该原位检测系统的装置。

[0063] 本发明的机床原位检测系统的综合误差标定装置具有预先设置的多个倾斜测量面和倾斜测量内孔,为原位检测系统的标定提供不同倾斜角度的参考面,并且该装置结构紧凑,占用体积小。

[0064] 在一个示例中,测量板样本集合2包括用于与底板1共同限定三维坐标系的第一样本子集、以及用于在三维坐标系中提供倾斜角度不同的多个测量面的第二样本子集。该第一样本子集与底板1构成三维坐标系,即该标定装置的三维坐标系,该第二样本子集的侧面即相对于该三维坐标系具有倾斜角度,不同倾斜角度的测量面可以标定机床的原位检测系统的对不同倾斜角度工件的测量结果,不同倾斜角度的测量面数量越多,则可对原位检测系统进行更多数量的倾斜角度测量结果进行标定。

[0065] 具体地,第一样本子集包括垂直于底板1设置的第一测量板201和第二测量板202,并且第一测量板201和第二测量板202的布置方向相互垂直,也就是底板1、第一测量板201和第二测量板202三者之间两两相互垂直,即底板1的上表面、第一测量板201和第二测量板202的最外侧的相交线构成了该测量系统的三维坐标系。

[0066] 第二样本子集中的一部分与第二测量板202的测量面垂直并与第一测量板201的测量面倾斜设置,第二样本子集中的另一部分与第一测量板201的测量面垂直并与第二测量板202的测量面倾斜设置,可以理解的是,由于底板1、第一测量板201和第二测量板202两两相互垂直,第二样本子集均与底板1倾斜设置。该处测量面为第二样本子集中的与底板1的上表面倾斜相对的面或者倾斜相背离的面。从附图中可以看出,第一测量板201和第二测

量板202位于底板1的边缘并与底板1垂直设置,第一测量板201和第二测量板202的测量面为其外表面。

[0067] 更为具体地,第二子集包括:

[0068] 与第二测量板202的测量面垂直并与第一测量板201的测量面分别呈 30° 、 45° 、 60° 、 75° 、 105° 、 120° 、 135° 和 150° 倾斜设置的第三测量板203、第四测量板204、第五测量板205、第六测量板206、第七测量板207、第八测量板208、第九测量板209和第十测量板210;

[0069] 测量板2的第二测量单元包括:与第一测量板201的测量面垂直并与第二测量板202的测量面分别呈 30° 、 45° 、 60° 、 75° 、 105° 、 120° 、 135° 和 150° 倾斜设置的第十一测量板211、第十二测量板212、第十三测量板213、第十四测量板214、第十五测量板215、第十六测量板216、第十七测量板217和第十八测量板218。

[0070] 在一个示例中,测量筒样本集合3包括:提供轴线与底板1垂直的筒状内壁面的第三样本子集和提供轴线倾斜角度不同的多个筒状内壁面的第四样本子集。第三样本子集与底板1垂直,即竖直布置,第四样本子集的轴线倾斜设置,即第四样本子集相对底板1倾斜。

[0071] 具体地,第四样本子集的一部分的轴线与第二测量板202的测量面平行并与第一测量板201的测量面倾斜;

[0072] 第四样本子集的另一部分的轴线与第一测量板201的测量面平行并与第二测量板202的测量面倾斜;同时该第四样本子集的轴线与底板1的上表面倾斜设置。

[0073] 更为具体地,第三样本子集包括轴线与底板1垂直的第一测量筒301,该第一测量筒301与第一测量板201的测量面和第二测量板202的测量面均平行;

[0074] 轴线与第二测量板202的测量面平行并与第一测量板201的测量面呈 45° 、 60° 、 75° 、 105° 、 120° 和 135° 倾斜设置的第二测量筒302、第三测量筒303、第四测量筒304、第五测量筒305、第六测量筒306和第七测量筒307;和

[0075] 轴线与第一测量板201的测量面平行并与第二测量板202的测量面呈 45° 、 60° 、 75° 、 105° 、 120° 和 135° 倾斜设置的第八测量筒308、第九测量筒309、第十测量筒310、第十一测量筒311、第十二测量筒312和第十三测量筒313。

[0076] 上述实施例中测量板和测量筒的倾斜角度仅是一个示例,并不是唯一可实施方案,只要各测量板和各测量筒的倾斜角度不同即可实现对机床原位检测系统的误差评定。上述示例中,附图中的 α_1 为 30° 、 α_2 为 45° 、 α_3 为 60° 、 α_4 为 75° 、 α_5 为 75° 、 α_6 为 60° 、 α_7 为 45° 、 α_8 为 30° 、 α_9 为 75° 、 α_{10} 为 60° 、 α_{11} 为 45° 、 α_{12} 为 30° 、 α_{13} 为 30° 、 α_{14} 为 45° 、 α_{15} 为 60° 、 α_{16} 为 75° ; β_1 为 45° 、 β_2 为 60° 、 β_3 为 75° 、 β_4 为 75° 、 β_5 为 60° 、 β_6 为 45° 、 β_7 为 75° 、 β_8 为 60° 、 β_9 为 45° 、 β_{10} 为 45° 、 β_{11} 为 60° 、 β_{12} 为 75° 。

[0077] 本发明的实施例还提供了一种机床原位检测系统误差标定方法,该方法包括以下步骤:

[0078] S0:调整机床主轴,主轴安装的测头测量底板1的上表面、第一测量板201的测量面和第二测量板202的测量面,确定该测量过程中的三维坐标系;在该测量过程开始前,上述的机床原位检测系统误差评定装置放置于工作台,并通过高精度的测量仪器确保该装置的底板1的一个外侧面与机床的X轴平行,即确定该装置的三维坐标系与机床内部三维坐标系之间建立关联,具体可以是该装置的三维坐标系的坐标轴方向与机床内部三维坐标系的坐标轴方向相同,当机床内部坐标系的坐标轴方向与装置的三维坐标系的坐标轴方向相同

时,机床的主轴移动过程中是沿坐标轴方向移动,测量精度高;该高精度的测量仪器可以是百分表;该处Z轴为机床的刀具转动的轴线的方向,X和Y轴分别为与Z轴垂直设置的方向,A轴为绕X轴转动的方向,C轴为绕Z轴转动的方向,在具体测量过程中,机床所测坐标以标定装置的三维坐标系为基准进行测量;

[0079] S1:驱动机床原位检测系统在上述的误差标定装置进行多测量点的坐标测量,具体可以是原位检测系统的安装于主轴的测头进行测量。其中,多测量点包括在测量板样本集合2提供的测量面测量得到的多个测量点、以及在测量筒样本集合3提供的筒状内壁面测量得到的多个测量点;

[0080] 在一个示例中,该步骤具体包括:

[0081] S101:驱动机床主轴沿A轴转动某一角度并沿C轴转动某一角度,使得安装于主轴的测头平行于某一测量板的测量面,例如第五测量板205,主轴沿A轴转动 30° 并沿C轴转动 90° ,测头平行于第五测量板205的测量面;平动移动测头,保持测头与测量面的平行状态,测头对测量板的测量面进行多坐标测量,得到该测量面的开角面和闭角面的多个坐标点的测量,例如开角面的四个坐标点 $P_{ki j1}(x_1, y_1, z_1)$ 、 $P_{ki j2}(x_2, y_2, z_2)$ 、 $P_{ki j3}(x_3, y_3, z_3)$ 、 $P_{ki j4}(x_4, y_4, z_4)$ 和闭角面的四个坐标点 $P_{bi j1}(x_1, y_1, z_1)$ 、 $P_{bi j2}(x_2, y_2, z_2)$ 、 $P_{bi j3}(x_3, y_3, z_3)$ 、 $P_{bi j4}(x_4, y_4, z_4)$;

[0082] 上述的测头移动至平行于某一测量板的测量面后,该测头沿垂直于该测量面的方向对该测量面进行测量。测头平行于测量板的测量面可以避免测量面与测头之间的干涉。

[0083] 其中,闭角面指的是与底面夹角小于 90° 的斜面,开角面指的是与底面夹角大于 90° 的斜面,在测量过程中,主轴转过的角度确定所对应的测量板,上下或者左右移动主轴可以保证主轴不转动但测头可以同时开角面和闭角面实现测量,并且所测量得到的开角面和闭角面的位置是沿该测量板的厚度方向相对应的。

[0084] S102:驱动机床主轴沿A轴转动某一角度并沿C轴转动某一角度,使得安装于主轴的测头平行于某一测量板的测量面。具体驱动机床主轴沿A轴分别转过 0° 、 15° 、 30° 、 45° 和 60° ,沿C轴分别转过 0° 、 90° 、 180° 和 270° 。通过主轴沿A轴和C轴的旋转,主轴测头分别平行于多个不同的测量板的测量面,测量每个测量板的开角面和闭角面的四个坐标点;可以理解的是,每个测量板分别对应A轴转动某一角度同时C轴转动某一角度,A轴转过的角度对应不同倾斜程度的测量板,而C轴转动的角度则对应不同倾斜方向的测量板。

[0085] S103:驱动机床主轴沿A轴转动某一角度并沿C轴转动某一角度,使得安装于主轴的测头平行于某一测量筒的某一测量点,例如第五测量筒305,主轴沿A轴转动 15° 并沿C轴转动 90° ,对测量筒的内壁面进行坐标测量,平动移动该测头可以得到该测量筒的内壁面的两平行圆环的坐标点,每个圆环取四个坐标点,共得到八个坐标点 $P_{hi j1}(x_1, y_1, z_1)$ 、 $P_{hi j2}(x_2, y_2, z_2)$ 、 $P_{hi j3}(x_3, y_3, z_3)$ 、 $P_{hi j4}(x_4, y_4, z_4)$ 、 $P_{hi j5}(x_5, y_5, z_5)$ 、 $P_{hi j6}(x_6, y_6, z_6)$ 、 $P_{hi j7}(x_7, y_7, z_7)$ 、 $P_{hi j8}(x_8, y_8, z_8)$;

[0086] S104:驱动机床主轴沿A轴转动,具体沿A轴转过 0° 、 15° 、 30° 和 45° ,在A轴转动过程中,主轴测头分别平行于不同的测量筒的内壁面,测量每个测量筒的内壁面的八个坐标点。

[0087] S2:基于多测量点的测量坐标进行平面拟合以及圆柱面拟合、并计算平面度和圆柱度;

[0088] 具体而言可以包括以下步骤S201:采用最小二乘法拟合平面。

[0089] 具体地,一个平面上 n 个测量点 $P(x_i, y_i, z_i)$, $i=0, 1, \dots, n-1$ 拟合平面,即求使下列方程式最小的平面方程系数:

$$[0090] \quad f(x_i, y_i, z_i) = \sum_{i=0}^{n-1} (a_0 x_i + a_1 y_i + a_2 - z_i)^2$$

[0091] 也就是求解线性方程:

$$[0092] \quad \begin{bmatrix} \sum x_i^2 & \sum x_i y_i & \sum x_i \\ \sum x_i y_i & \sum y_i^2 & \sum y_i \\ \sum x_i & \sum y_i & n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum x_i z_i \\ \sum y_i z_i \\ \sum z_i \end{bmatrix}$$

[0093] 得到拟合平面 $z = a_0 x + a_1 y + a_2$ 。

[0094] S202:计算该平面的平面度。

[0095] 具体地,求取所有测量点到拟合平面的距离,其中的最大距离和最小距离的差值即为该平面的平面度。

[0096] S203:采用最小二乘法拟合圆柱面。

[0097] 具体地,一个测量筒的内壁面上 n 个测量点 $P(x_i, y_i, z_i)$, $i=0, 1, \dots, n-1$ 拟合圆,即求使下式最小的圆方程系数:

$$[0098] \quad f(x_i, y_i) = \sum_{i=0}^{n-1} (x_i^2 + y_i^2 + ax_i + by_i + c)^2$$

[0099] 也就是求解方程组:

$$[0100] \quad \sum 2(x_i^2 + y_i^2 + ax_i + by_i + c)x_i = 0$$

$$[0101] \quad \sum 2(x_i^2 + y_i^2 + ax_i + by_i + c)y_i = 0$$

$$[0102] \quad \sum 2(x_i^2 + y_i^2 + ax_i + by_i + c) = 0$$

[0103] 得到拟合圆 $x^2 + y^2 + ax + by + c = 0$

[0104] 圆柱面上两个拟合圆的圆心的连线为拟合圆柱中心线,两圆直径平均值为拟合圆柱直径,通过拟合圆柱中心线和拟合圆柱直径可以得到拟合圆柱面;

[0105] S204:计算测量筒的内壁面的圆柱度。

[0106] 具体而言,求取所有测量点与拟合圆柱面之间的距离,其中最大距离和最小距离之差为该圆柱面的圆柱度。

[0107] 根据实际操作需要,若需要测定原位检测系统对厚度测量的准确度,还可以增加以下步骤:S205:求取同一测量板的闭角面和开角面相应位置的测量点之间的距离,即为该测量板的厚度。

[0108] S3:驱动三坐标测量机测量在上述的误差标定装置获取多测量点的标准坐标,该三坐标测量机的精度高于原位检测系统的精度,因此认为三坐标测量机所测坐标为标准坐标,即通过三坐标测量机标定机床的原位检测系统;标定时,三坐标测量机沿步骤S1中原位检测系统相同的测量路径进行测量,保证三坐标测量机和机床原位检测系统的路径相同,所测的测量点位置完全相同,这样所测结果更具有可对比性;

[0109] S4:基于多测量点的标准坐标进行平面拟合以及圆柱面拟合、并计算平面度和圆

柱度;该处平面和圆柱面的拟合可以采用上述的最小二乘法,也可以采用其它方法,具体三坐标测量机中更高精度的拟合系统进行拟合,得到拟合平面和圆柱面,平面度和圆柱度可与步骤S2中相同方法进行计算得到;

[0110] 根据实际标定情况需要,该步骤也可以根据上述步骤S2中的方法测得测量板的厚度。

[0111] S5:将测量坐标与标准坐标进行比对,并将基于测量坐标计算得到的平面度和圆柱度与基于标准坐标计算得到的平面度和圆柱度进行比对,以确定误差;

[0112] 该处机床原位检测系统误差包括定位与测头误差和测量特征计算方法误差,由于三坐标测量机精度更高,因此将三坐标测量机测量结果作为标准值。

[0113] 其中,定位与测头误差的评价参数为原位检测系统所测坐标与三坐标测量机所测坐标距离的加和;

[0114] 具体地,三坐标测量机上各个测量点的坐标为 $P_{CMM_i}, i \in (1, 2, \dots, n)$,原位检测各个测量点的坐标为 $P_{OMM_i}, i \in (1, 2, \dots, n)$,定位与测头误差的评价参数 δ 为

$$[0115] \quad \delta = \sum_{i=1}^n |P_{OMM_i} - P_{CMM_i}|$$

[0116] 所述测量特征计算方法误差的评价参数为原位检测系统所测平面度与三坐标测量机所测平面度的差值和原位检测系统所测圆柱度与三坐标测量机所测圆柱度的差值的数量和的绝对值。

[0117] 具体地,设三坐标测量机测量斜面平面度为 $d_{CMM_i}, i \in (1, 2, \dots, n)$,原位检测测量平面度为 $d_{OMM_i}, i \in (1, 2, \dots, n)$,原位检测平面度误差 δ_{di} 为:

$$[0118] \quad \delta_{di} = d_{OMM_i} - d_{CMM_i}$$

[0119] 设三坐标测量机测量斜孔圆柱度为 $r_{CMM_i}, i \in (1, 2, \dots, n)$,原位检测测量斜孔圆柱度为 $r_{OMM_i}, i \in (1, 2, \dots, n)$,原位检测圆柱度误差 δ_{ri} 为:

$$[0120] \quad \delta_{ri} = r_{OMM_i} - r_{CMM_i}$$

[0121] 原位检测平面度误差和原位检测圆柱度误差的数量和的绝对值为:

$$[0122] \quad \delta = \sum_{i=1}^n |\delta_{di} + \delta_{ri}|$$

[0123] 此外,若需要评价原位检测系统的厚度测量精度,则原位检测系统的厚度测量误差为原位检测系统所测测量板的厚度与三坐标测量机所测测量板的厚度之差。

[0124] S6:用确定的误差作为机床原位检测系统综合误差的评价参数,确定原位检测系统补偿方法有效性。

[0125] 可以理解的是,步骤S5中的各项误差确定后,根据误差判断原位检测系统精度是否达到预期阈值,如果超过预期阈值,需要调整原位检测系统,具体可以是调整原位检测系统的测头误差补偿方法、机床定位误差补偿方法和测量特征计算方法,调整完成后重复上述步骤S1-S5再次进行原位检测系统综合误差标定,直至原位检测系统精度达到预期阈值。

[0126] 应当理解,虽然本说明书是按照各个实施方式描述的,但并非每个实施方式仅包含一个独立的技术方案,说明书的这种叙述方式仅仅是为清楚起见,本领域技术人员应当

将说明书作为一个整体,各实施方式中的技术方案也可以经适当组合,形成本领域技术人员可以理解的其他实施方式。

[0127] 上文所列出的一系列的详细说明仅仅是针对本发明的可行性实施方式的具体说明,而并非用以限制本发明的保护范围,凡未脱离本发明技艺精神所作的等效实施方案或变更,如特征的组合、分割或重复,均应包含在本发明的保护范围之内。

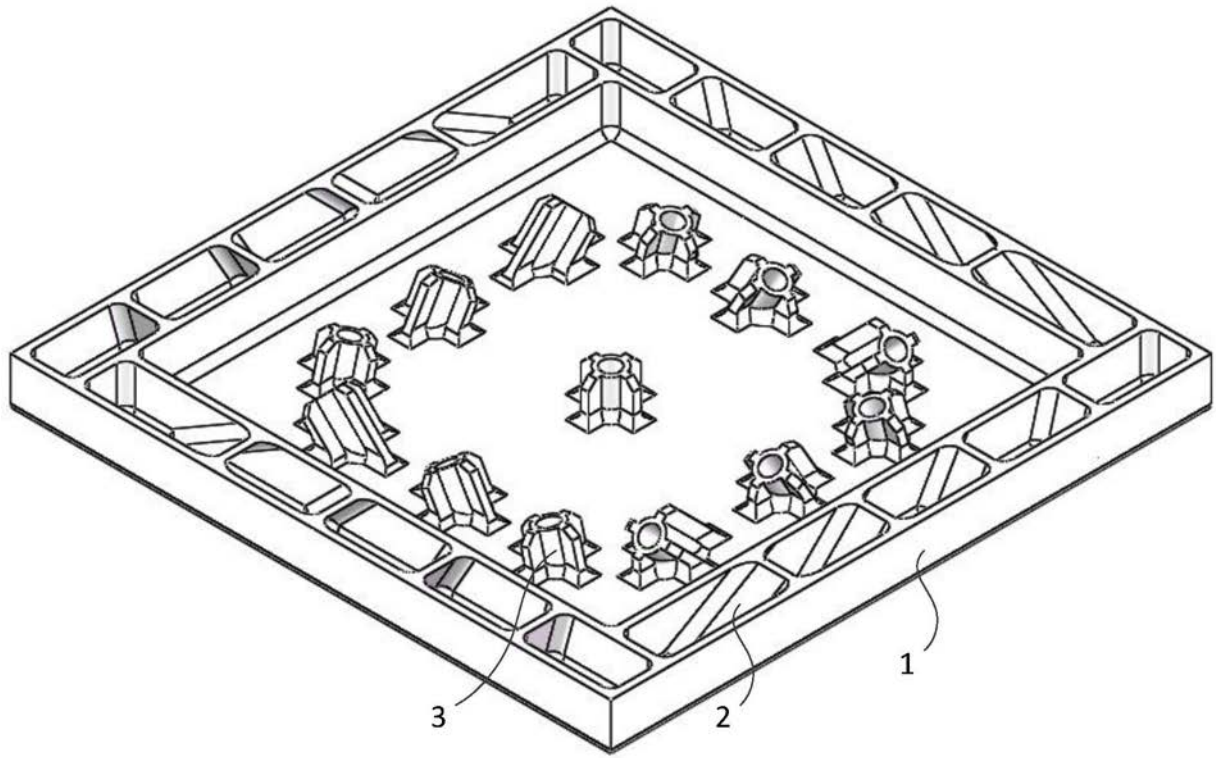


图1

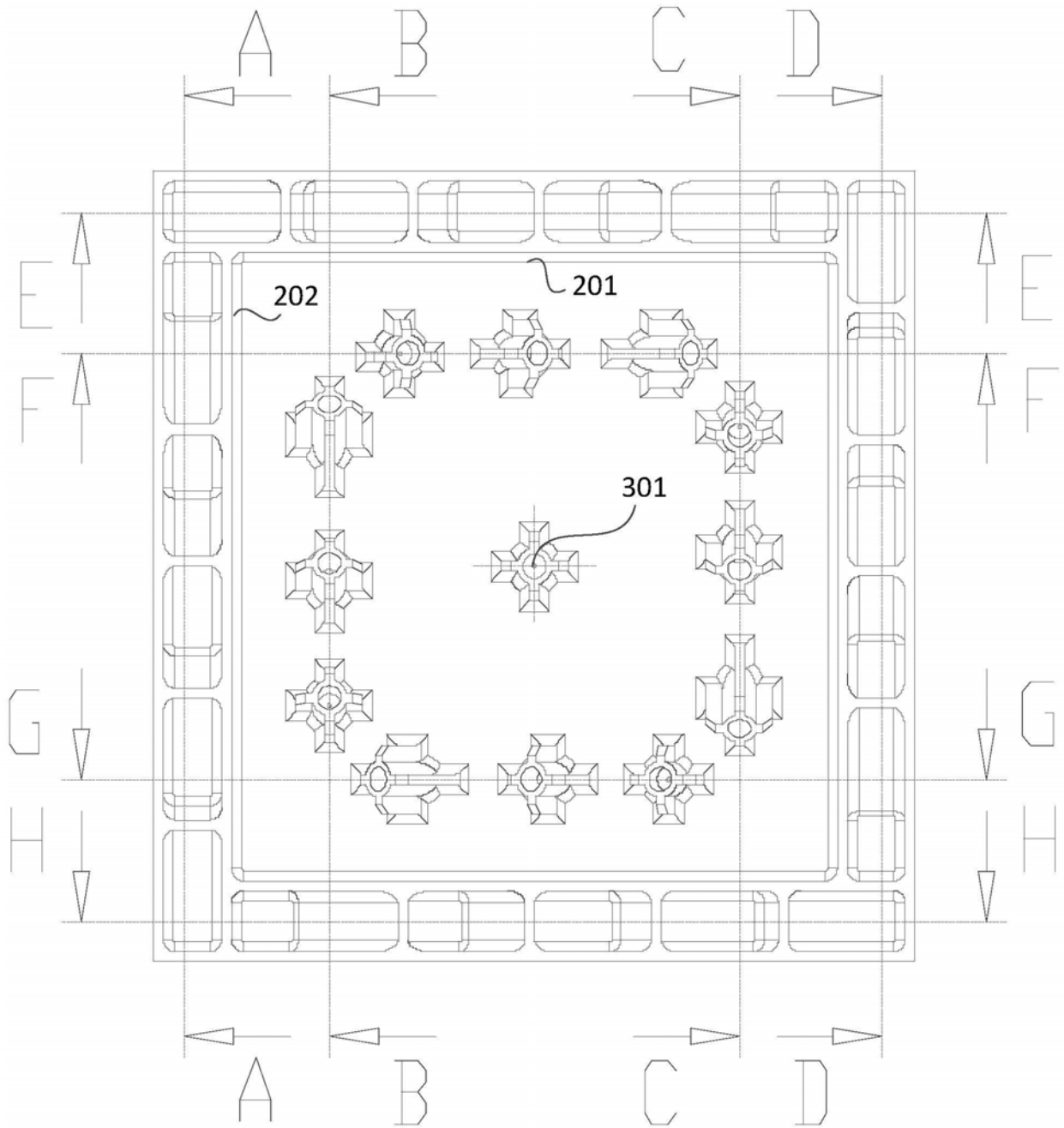


图2

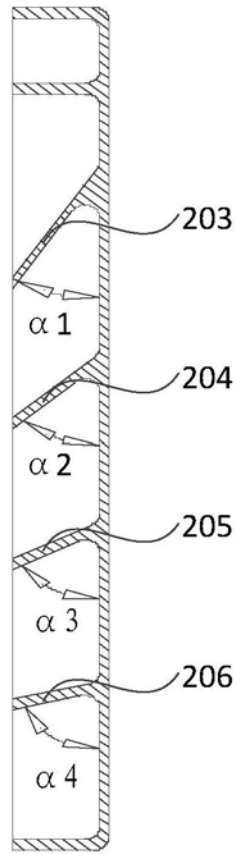


图3

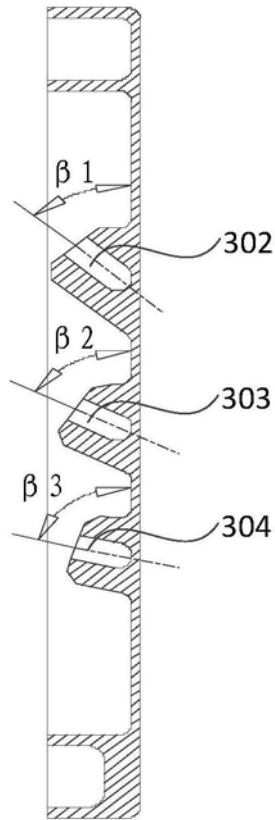


图4

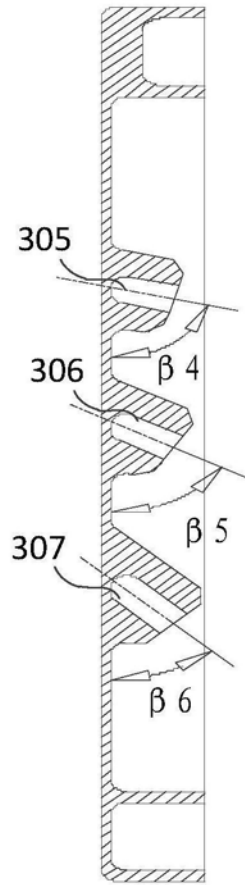


图5

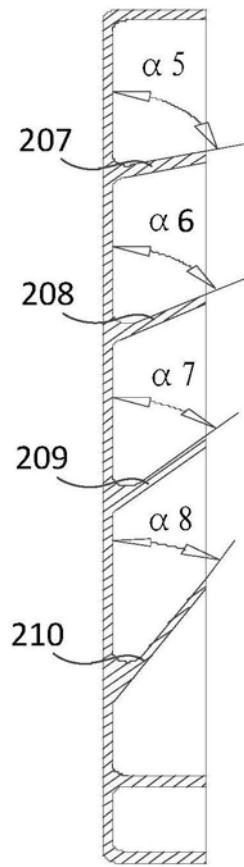


图6

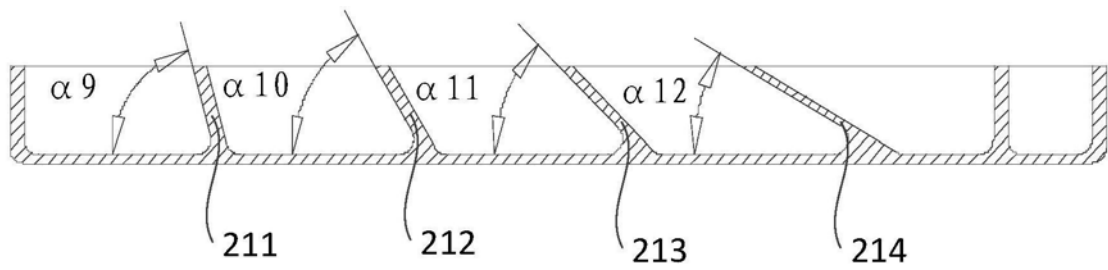


图7

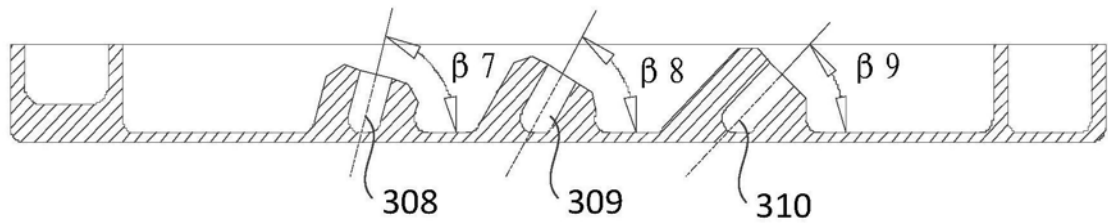


图8

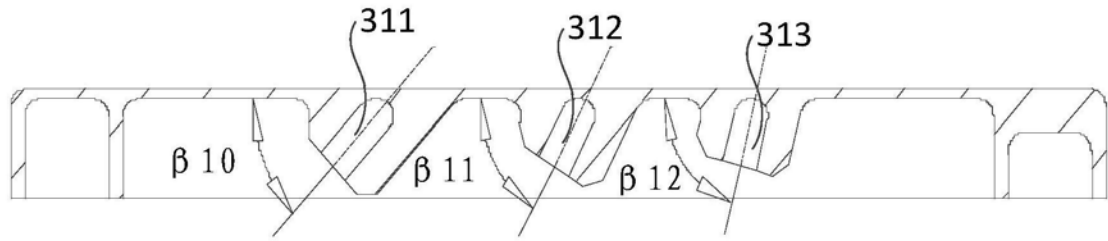


图9

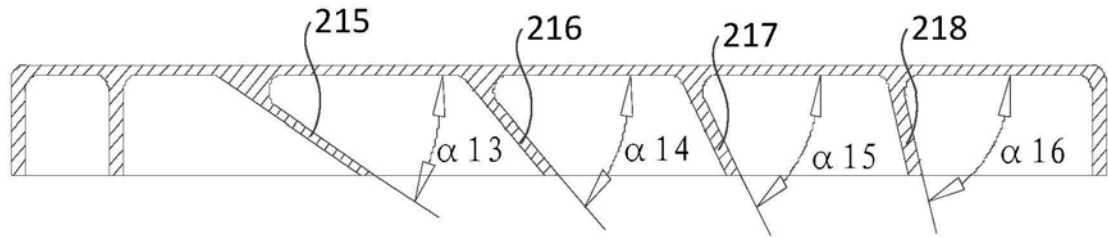


图10