



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113865570 A

(43) 申请公布日 2021. 12. 31

(21) 申请号 202111204818.1

(22) 申请日 2021.10.15

(71) 申请人 博迈科海洋工程股份有限公司

地址 300457 天津市滨海新区经济技术开发区第四大街14号

(72) 发明人 李树国 杨潇 蒋春霞 邓海龙

(74) 专利代理机构 天津市北洋有限责任专利代理事务所 12201

代理人 王蒙蒙

(51) Int. Cl.

G01C 15/12 (2006.01)

G01C 15/00 (2006.01)

G01B 11/00 (2006.01)

G01B 11/26 (2006.01)

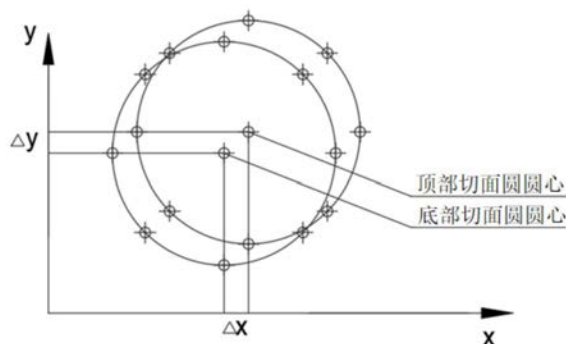
权利要求书1页 说明书6页 附图5页

(54) 发明名称

一种钢结构圆形立柱垂直度测量方法

(57) 摘要

本发明公开了一种钢结构圆形立柱垂直度测量方法,通过使用三维扫描技术对立柱和甲板进行扫描,然后通过点云数据拼接、去噪、简化等处理得到立柱和甲板完整的清洁点云数据,选取立柱底部位置甲板点云数据通过最小二乘法拟合得到基准拟合平面并转换坐标系,使用基准拟合平面截取立柱获取点云切面圆,通过计算得到不同高度立柱切面圆圆心坐标,进行误差分析合格后,通过圆心偏差计算立柱垂直度。本发明测量方法通过三维扫描技术解决传统立柱测量时产生的操作繁琐、人力物力成本高且容易产生安全隐患的问题,具有几乎没有任何安全隐患、操作简单测量速度快、大大提高立柱检测效率等优点。



1. 一种钢结构圆形立柱垂直度测量方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1,使用三维扫描仪分次对立柱和甲板进行扫描,直至完成立柱和甲板的全部扫描,其中,每次扫描获得部分立柱点云数据和部分甲板点云数据;

步骤2,对各次获得的部分立柱点云数据和部分甲板点云数据进行拼接,得到每个立柱的完整点云数据和每层甲板的完整点云数据;

步骤3,选取立柱底部位置处的甲板的完整点云数据,通过最小二乘法进行平面拟合,得到基准拟合平面;

步骤4,沿立柱高度方向移动基准拟合平面得到不同标高处的拟合平面,获取不同标高处的拟合平面上的各个立柱的点云数据,该点云数据称为切面点云数据;

步骤5,通过最小二乘法将各个立柱的点云切面数据进行拟合,得到不同标高处的拟合平面上的各个立柱的切面圆,提取每个切面圆的圆心坐标;

步骤6,计算各个立柱在不同标高处的拟合平面上的切面圆的圆度和该切面圆对应的点云切面数据与该切面圆之间的误差,确认各个立柱拟合得到的切面圆是否符合要求;

步骤7,计算各个立柱在不同标高处的拟合平面上的切面圆圆心在x、y坐标上的偏差,对于偏差超出误差标准的立柱,进行调整。

2. 根据权利要求1所述的钢结构圆形立柱垂直度测量方法,其特征在于,步骤1中,在使用三维扫描仪对立柱和甲板进行扫描前,确保立柱和甲板处于静止状态。

3. 根据权利要求1所述的钢结构圆形立柱垂直度测量方法,其特征在于,步骤1中,通过不同角度和立柱四周各个位置对立柱进行扫描。

4. 根据权利要求1所述的钢结构圆形立柱垂直度测量方法,其特征在于,步骤4中,所述的不同标高处的拟合平面为立柱底部处的拟合平面和立柱顶部处的拟合平面。

一种钢结构圆形立柱垂直度测量方法

技术领域

[0001] 本发明涉及工程测量技术,特别涉及一种钢结构圆形立柱垂直度测量方法。

背景技术

[0002] 大型海洋工程模块建造方式一般采用的方法分层建造,最后整体组装的方法,海洋钢结构上部平台是典型的多层钢结构,它的主要结构由甲板片和立柱组成,其中部分最主要的承重结构为直接较大的圆形立柱,其垂直度的好坏会影响平台结构是否满足精度控制的要求,因此垂直的精准测量十分重要。

[0003] 现有立柱测量的检测传统方法主要有两种方法,第一种是人工吊线锤,操作时需要两名测量员配合进行,一名测量人员在柱子顶端掉线锤,另一名测量员在柱子底端用卷尺测量数据,一般柱子高度都在3至10米,这种测量方法容易受到风速影响且有极大的安全隐患,需要搭脚手架且操作不方便。第二种是全站仪在圆柱上取点,然后进行拟合圆心,求出立柱顶部和底部圆心坐标,通过底部和顶部圆心偏移求取立柱垂直度,这种测量方法容易受到全站仪点数限制和测量角度限制使拟合出立柱圆度受到影响,并且全站仪取点若要保证精度需要人工辅助贴点,这同样会产生安全隐患,而且全站仪在晃动的条件下,误差会大大增加。

发明内容

[0004] 本发明的目的是克服现有技术中的不足,提供一种钢结构圆形立柱垂直度测量方法,本发明测量方法通过三维扫描技术解决传统立柱测量时产生的操作繁琐、人力物力成本高且容易产生安全隐患的问题,具有几乎没有任何安全隐患、操作简单测量速度快、大大提高立柱检测效率等优点。

[0005] 本发明应用三维激光仪在圆形立柱和立柱底部安装平面上取海量点,通过立柱底部平面点云生成横截面截取立柱底部和顶部点云数据,将三维空间圆转化为二维平面圆,再用最小二乘法进行圆心拟合,分别求出立柱顶部和底部圆心坐标,评估圆度和点位中误差精度,最后计算圆柱顶部和底部圆心偏移求得立柱垂直度。采用三维扫描技术的优点是不需要人工进行辅助,不需要搭设脚手架,几乎没有任何安全隐患,不受海上风速影响和摇晃影响,测量速度快,大大提高立柱检测效率。

[0006] 本发明所采用的技术方案是:本发明所采用的技术方案是:一种钢结构圆形立柱垂直度测量方法,包括以下步骤:

[0007] 步骤1,使用三维扫描仪分次对立柱和甲板进行扫描,直至完成立柱和甲板的全部扫描,其中,每次扫描获得部分立柱点云数据和部分甲板点云数据;

[0008] 步骤2,对各次获得的部分立柱点云数据和部分甲板点云数据进行拼接,得到每个立柱的完整点云数据和每层甲板的完整点云数据;

[0009] 步骤3,选取立柱底部位置处的甲板的完整点云数据,通过最小二乘法进行平面拟合,得到基准拟合平面;

[0010] 步骤4,沿立柱高度方向移动基准拟合平面得到不同标高处的拟合平面,获取不同标高处的拟合平面上的各个立柱的点云数据,该点云数据称为切面点云数据;

[0011] 步骤5,通过最小二乘法将各个立柱的点云切面数据进行拟合,得到不同标高处的拟合平面上的各个立柱的切面圆,提取每个切面圆的圆心坐标;

[0012] 步骤6,计算各个立柱在不同标高处的拟合平面上的切面圆的圆度和该切面圆对应的点云切面数据与该切面圆之间的误差,确认各个立柱拟合得到的切面圆是否符合要求;

[0013] 步骤7,计算各个立柱在不同标高处的拟合平面上的切面圆圆心在x、y坐标上的偏差,对于偏差超出误差标准的立柱,进行调整。

[0014] 进一步地,步骤1中,在使用三维扫描仪对立柱和甲板进行扫描前,确保立柱和甲板处于静止状态。

[0015] 进一步地,步骤1中,通过不同角度和立柱四周各个位置对立柱进行扫描。

[0016] 进一步地,步骤4中,所述的不同标高处的拟合平面为立柱底部处的拟合平面和立柱顶部处的拟合平面。

[0017] 本发明的有益效果是:通过三维扫描技术对结构圆形立柱垂直度测量实现完全无人工辅助,不搭设脚手架,不受海上风速影响和摇晃影响。通过三维扫描技术和后期点云数据处理技术得到立柱的三维实景模型,进行数据提取和分析后得到精准直观的立柱垂直度数据,便于后期现场施工人员调整和安装立柱,大大提高立柱检测效率和立柱安装效率。

附图说明

[0018] 图1:本发明实施例所涉及的多层钢结构平台主要结构图;

[0019] 图2:根据本发明方法所获取的立柱点云数据图;

[0020] 图3:本发明中平移基准拟合平面截取立柱切面点云数据示意图;

[0021] 图4:本发明中不同标高处的拟合平面上的各个立柱的切面点云数据;

[0022] 图5:本发明实施例立柱垂直度测量结果;

[0023] 图6:本发明立柱检测示意图。

具体实施方式

[0024] 为能进一步了解本发明的发明内容、特点及功效,兹例举以下实施例,并配合附图详细说明如下:

[0025] 如图1所示,本实施例选取大型海洋工程模块多层钢结构中的一个分段的全部立柱进行测量。

[0026] 本发明通过使用三维扫描技术对立柱进行扫描,然后通过点云数据拼接、去噪、简化等处理得到立柱完整的清洁点云,选取立柱底部位置甲板平面点云数据通过最小二乘法拟合截面并转换坐标系,使用截面截取立柱获取点云切面圆,通过计算得到不同高度立柱切面圆圆心坐标,进行误差分析合格后,通过圆心偏差计算立柱垂直度。具体测量方法如下:

[0027] 步骤1,测量前需要保证立柱和甲板处于静止状态,清除被测立柱和甲板附近杂物。使用三维扫描仪分次对立柱和甲板进行扫描,直至完成立柱和甲板的全部扫描,其中,

每次扫描获得部分立柱点云数据和部分甲板点云数据。扫描前,根据立柱高度选择三维扫描仪的测站位置和扫描参数,整平后开始进行立柱和甲板扫描。通过不同角度和立柱四周各个位置对立柱进行扫描,保证立柱点云数据完整,若立柱高度较高,需要将立柱顶部数据进行加密扫描。本发明选取的三维扫描仪为FARO FOCUS S350三维激光扫描仪,它的每秒最快可以发射百万激光点,测距误差为1mm,自带双轴补偿器对每次扫描进行水平校准保证测量精度,它的测量有效范围为350m满足现场测量要求。

[0028] 步骤2,将扫描完成的点云数据导入点云数据拼接软件进行拼接,保证拼接点云数据拼接精度控制在3mm之内,得到每个立柱的完整点云数据和每层甲板的完整点云数据。如存在除立柱和甲板平面外的多余点云,则需将多余点云去除。本实施例中,点云数据拼接软采用FARO SCENE软件,根据FARO SCENE拼接报告此次测量的点云拼接中误差是3mm,满足拼接误差要求。图2为处理后的立柱点云。

[0029] 步骤3,选取立柱底部位置处的甲板的完整点云数据,由于点云的高程数据不是固定值,需要通过最佳平面方程进行计算,确定最佳平面(即,基准拟合平面),计算出的最佳平面作为坐标系的XY平面,同时也是截取立柱的横截面,最佳平面方程为:

$$[0030] \quad z = ax + by + c$$

[0031] 式中, (x, y, z) 为笛卡尔坐标系下坐标, a, b, c 为三个代求参数,通过运用最小二乘方法进行计算:

$$[0032] \quad \phi = \min \sum_{i=1}^n (z_i - ax_i - by_i)^2$$

[0033] 式中, (x_i, y_i, z_i) 为立柱底部位置处甲板点云数据中的第 i 个点云数据坐标,其中, $i = 1, 2, \dots, n$, n 为立柱底部位置处甲板点云数据的总个数, ϕ 为所有测量点距离最小二乘面偏差值的平方和,根据最小二乘原理,使 ϕ 最小,对 a, b, c 分别求导,然后置零:

$$[0034] \quad \frac{\partial \phi}{\partial a} = 0, \quad \frac{\partial \phi}{\partial b} = 0, \quad \frac{\partial \phi}{\partial c} = 0$$

[0035] 然后计算最佳平面的三个参数 a, b, c :

$$[0036] \quad \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i y_i & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i & \sum_{i=1}^n y_i^2 & \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n y_i & n \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n x_i z_i \\ \sum_{i=1}^n y_i z_i \\ \sum_{i=1}^n z_i \end{bmatrix}$$

[0037] 计算得到,坐标原点(原点选定在甲板上的定向点)距离最佳平面的距离为:

$$[0038] \quad \left| c / \sqrt{1 + a^2 + b^2} \right|$$

[0039] 由此可以获得最佳平面(即,基准拟合平面)。

[0040] 步骤4,将坐标系的XY平面和基准拟合平面进行对齐,设基准拟合平面标高为0mm,即,基准拟合平面上的点Z值均为0,如图3所示,沿立柱高度方向移动基准拟合平面得到不

同标高处的拟合平面,获取不同标高处的拟合平面上的各个立柱的点云数据,该点云数据称为切面点云数据,如图4所示,本实施例中,选取的标高为+100mm和+3100mm,即高于基准拟合平面100mm处和高于基准拟合平面值3100mm处,其中,高于基准拟合平面100mm处为立柱底部,坐标Z值为100,高于基准拟合平面3100mm处为立柱顶部,坐标Z值为3100。

[0041] 步骤5,通过最小二乘法将各个立柱的点云切面数据进行拟合,得到不同标高处的拟合平面上的各个立柱的切面圆,提取每个切面圆的圆心坐标。计算最佳圆心坐标方程为:

[0042] $x'^2 + y'^2 + dx + ey + f = 0$

[0043] 式中,d、e、f为待求参数。

[0044]
$$\delta = \min \sum_{j=1}^m (x_j'^2 + y_j'^2 + dx_j' + ey_j' + f)^2$$

[0045] 式中, δ 为圆周点与最佳圆周偏差值平方和, (x'_j, y'_j) 为所计算的切面圆的点云切面数据中的第j个点云数据坐标,其中, $j=1, 2, \dots, m$,m为所计算的切面圆的点云切面数据总个数。

[0046] 根据最小二乘原理,为使 δ 最小,令 δ 对d、e、f分别求导:

[0047] $\frac{\partial \delta}{\partial d} = 0, \quad \frac{\partial \delta}{\partial e} = 0, \quad \frac{\partial \delta}{\partial f} = 0$

[0048] 由此可以计算圆的参数d、e、f:

[0049]
$$\begin{bmatrix} d \\ e \\ f \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^m x_j'^2 & \sum_{j=1}^m x_j' y_j' & -\sum_{j=1}^m x_j' \\ \sum_{j=1}^m x_j' y_j' & \sum_{j=1}^m y_j'^2 & -\sum_{j=1}^m y_j' \\ \sum_{j=1}^m x_j' & -\sum_{j=1}^m y_j' & m \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^m x_j'^3 + \sum_{j=1}^m x_j' y_j'^2 \\ \sum_{j=1}^m y_j'^3 + \sum_{j=1}^m x_j'^2 y_j' \\ -\sum_{j=1}^m x_j'^2 - \sum_{j=1}^m y_j'^2 \end{bmatrix}$$

[0050] 最终求得圆心为:

[0051] $(x+0.5d)^2 + (y+0.5e)^2 = 1/4d^2 + 1/4e^2 - f$

[0052] $x'_0 = -1/2d, y'_0 = -1/2e$

[0053] 式中, x'_0 为最佳圆心坐标x值, y'_0 为最佳圆心坐标y值。

[0054] 再加上步骤4计算得到的Z值坐标,即最佳圆心的三维坐标,如下表所示:

[0055] 表1圆柱顶部和底部圆心坐标单位:mm

[0056]

名称	底部圆心坐标			顶部圆心坐标		
	中心 X	中心 Y	中心 Z	中心 X	中心 Y	中心 Z
立柱 1	-5848.23	-14956.9	100	-5847.43	-14958.7	3100
立柱 2	4149.119	-14956.9	100	4148.578	-14955.9	3100
立柱 3	-5845.35	-4955.52	100	-5847.98	-4956.58	3100
立柱 4	4151.074	-4957.69	100	4150.173	-4965.34	3100
立柱 5	-5833.01	5042.417	100	-5834.26	5047.383	3100
立柱 6	4156.522	5039.101	100	4161.926	5035.924	3100
立柱 7	-5834.84	15041.26	100	-5836.25	15045.59	3100
立柱 8	4168.851	15037.38	100	4169.985	15034.54	3100

[0057] 步骤6,根据数学偏差计算公式计算各个立柱在不同标高处的拟合平面上的切面圆的圆度和圆心拟合偏差(圆心拟合偏差即为该切面圆对应的点云切面数据与该切面圆之间的误差),其中,计算圆心拟合偏差包括计算平均偏差、均方根误差、标准偏差和离散偏差,如下表所示,确认各个立柱拟合得到的切面圆是否符合平台建造和安装精度要求。

[0058] 表2圆心拟合偏差单位mm

[0059]

名称	拟合点数	平均偏差	均方根误差	标准偏差	离散偏差
立柱1底部点云切面圆	445	-0.1558	1.6476	1.6402	2.6902
立柱2底部点云切面圆	210	-0.0625	1.4109	1.4095	1.9866
立柱3底部点云切面圆	208	-0.3996	1.9483	1.9069	3.6363
立柱4底部点云切面圆	148	-0.1287	1.8972	1.8928	3.5826
立柱5底部点云切面圆	246	0.01	1.3027	1.3027	1.697
立柱6底部点云切面圆	221	0.0163	1.0234	1.0233	1.0471
立柱7底部点云切面圆	460	-0.082	0.9831	0.9797	0.9597
立柱8底部点云切面圆	318	0.137	1.752	1.7466	3.0507
立柱1顶部点云切面圆	94	-0.034	0.9168	0.9161	0.8393
立柱2顶部点云切面圆	203	-0.1666	1.6976	1.6895	2.8542
立柱3顶部点云切面圆	226	0.0076	1.7209	1.7209	2.9616
立柱4顶部点云切面圆	239	0.06	0.9693	1.9674	0.9359
立柱5顶部点云切面圆	225	-0.0127	0.7461	0.746	0.5565
立柱6顶部点云切面圆	96	0.0715	1.0861	1.0838	1.1746
立柱7顶部点云切面圆	211	-0.2587	1.8263	1.8079	3.2684
立柱8顶部点云切面圆	250	-0.0232	1.9343	1.9341	3.7409

[0060] 根据圆心拟合偏差可以确认数据满足圆心拟合误差要求。

[0061] 步骤7,根据拟合出的切面圆圆心,选取东西和南北方向最远的两根立柱圆心进行连线,连出的两条直线即为X轴和Y轴,根据现场实际方向立柱点云数据进行定向,确保立柱的排列和现场立柱排列方向一致。

[0062] 步骤8,将拟合出的立柱切面圆圆心导入至CAD,如图5所示,在CAD上测量立柱底部切面圆圆心和立柱顶部切面圆圆心在x、y坐标上的偏移,并输出立柱垂直度测量报告提供现场参考,对于圆心偏差超出误差标准的立柱,可以输出调整方案给现场施工人员进行调

整。

[0063] 图6为立柱垂直检测示意图,其中的两个圆分别是立柱底部的切面圆和立柱顶部的切面圆,这两个圆是立柱顶部和底部对应标高处的点云拟合而成,图中, $(\Delta x, \Delta y)$ 为立柱底部切面圆圆心和立柱顶部切面圆圆心之间的偏移。

[0064] 尽管上面结合附图对本发明的优选实施例进行了描述,但是本发明并不局限于上述的具体实施方式,上述的具体实施方式仅仅是示意性的,并不是限制性的,本领域的普通技术人员在本发明的启示下,在不脱离本发明宗旨和权利要求所保护的范围情况下,还可以做出很多形式,这些均属于本发明的保护范围之内。

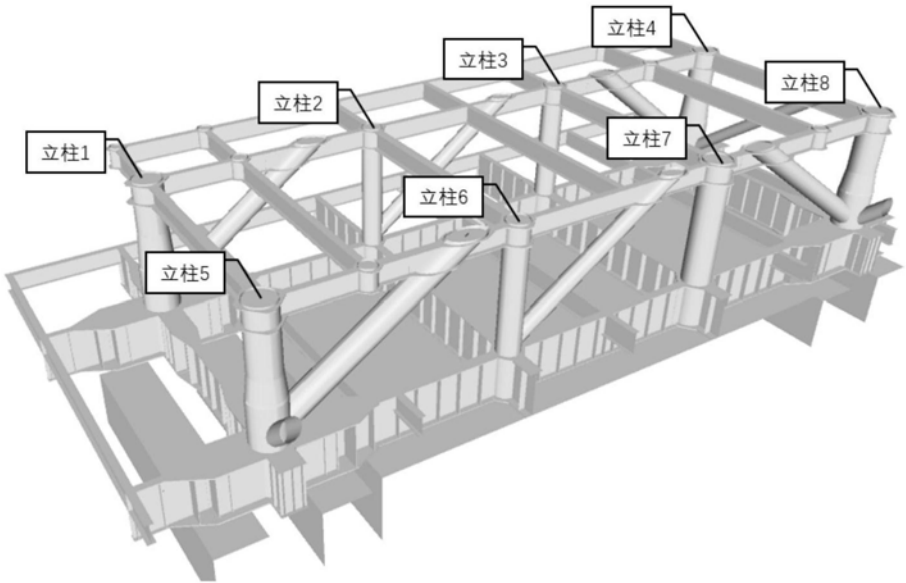


图1

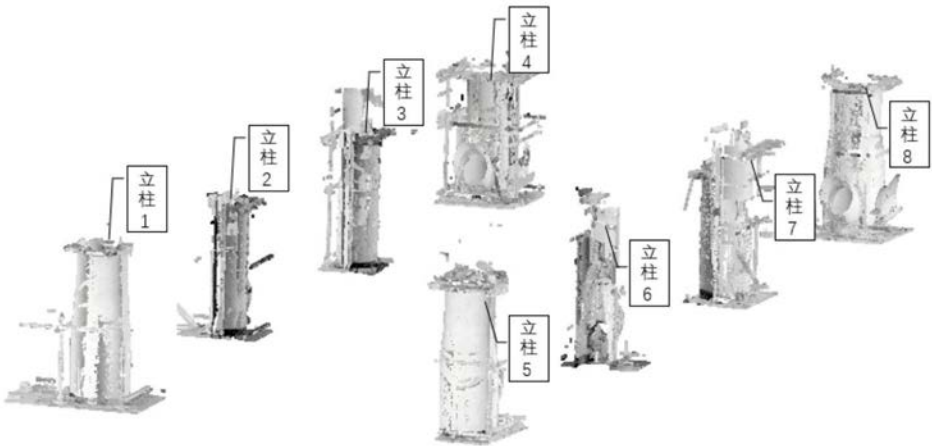


图2

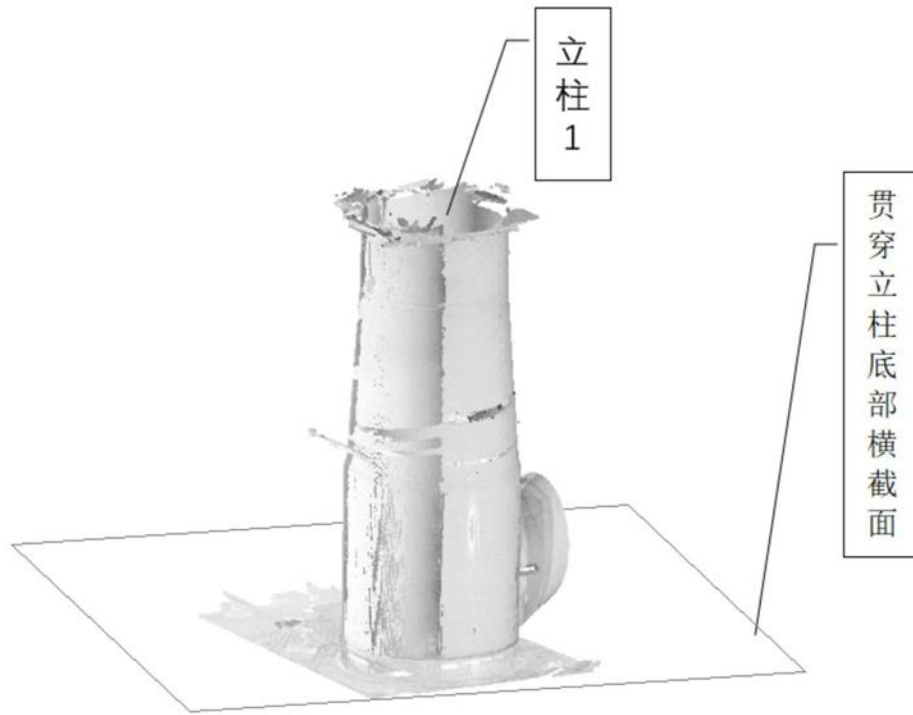


图3

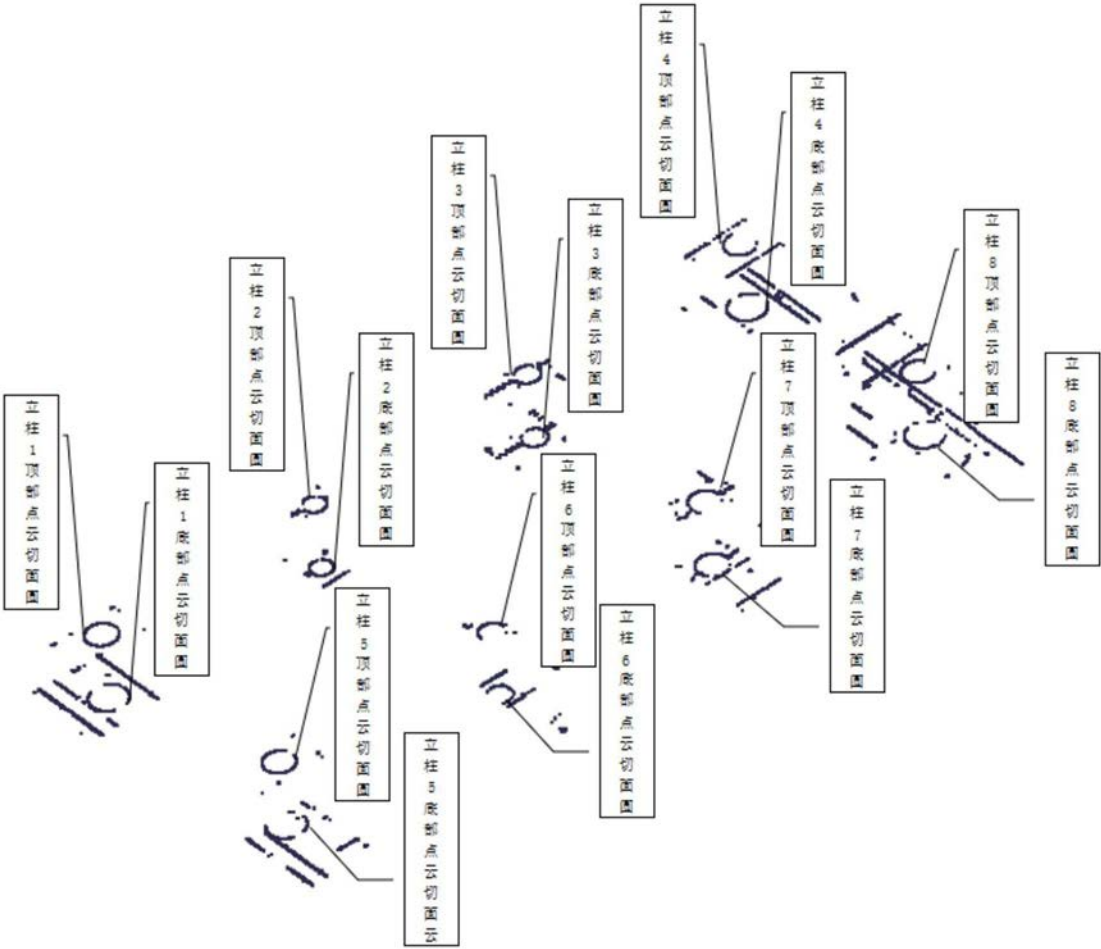


图4

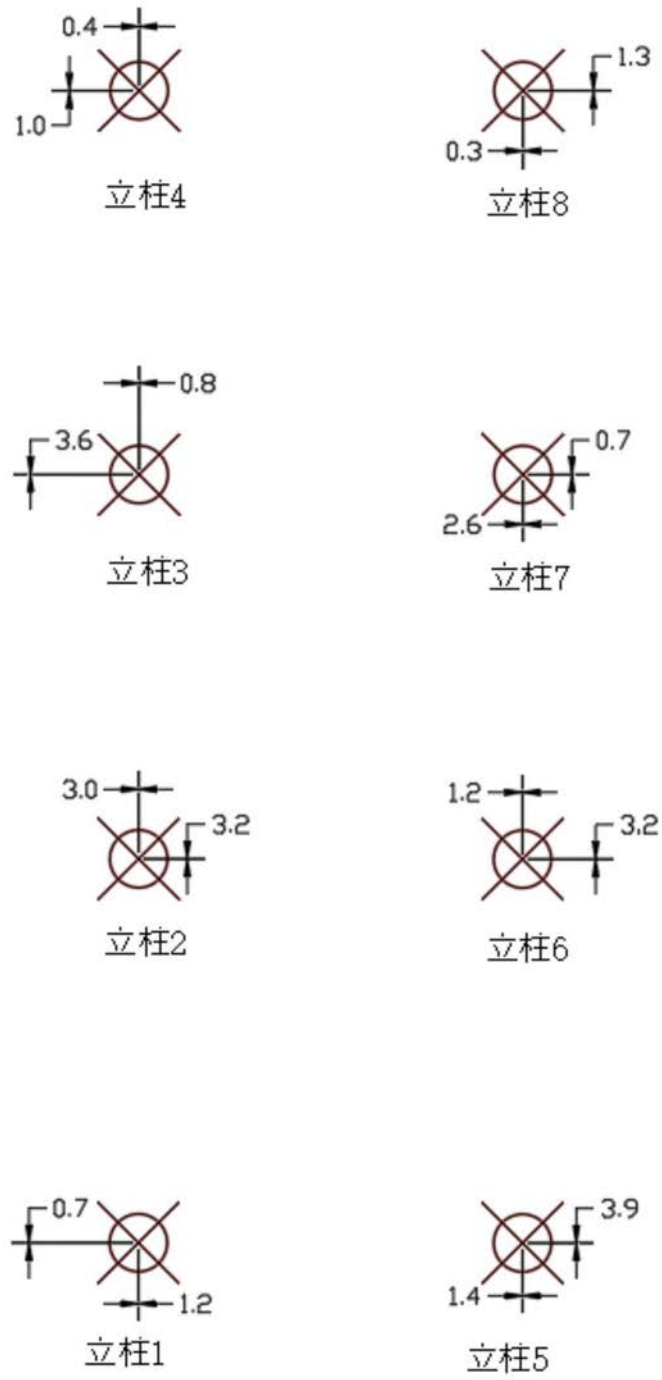


图5

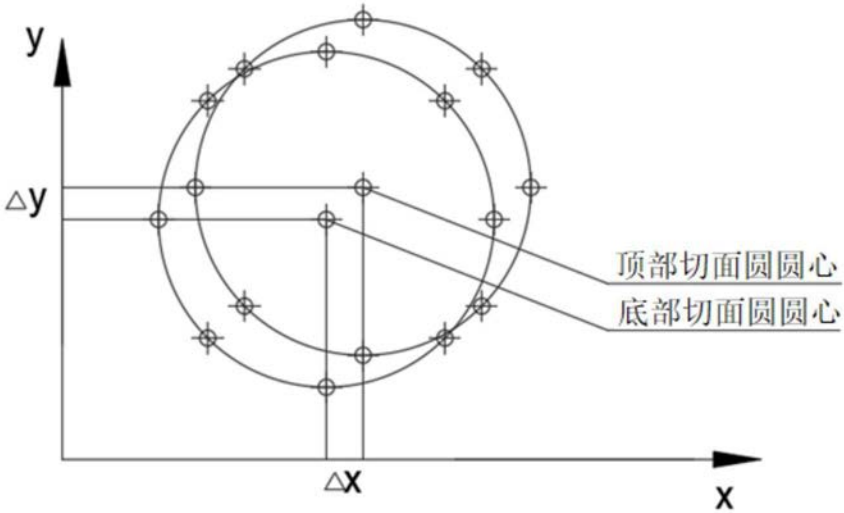


图6