



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104864811 A

(43) 申请公布日 2015. 08. 26

(21) 申请号 201510330603. 2

(22) 申请日 2015. 06. 15

(71) 申请人 吉林大学

地址 130012 吉林省长春市前进大街 2699 号

(72) 发明人 杨旭 于海洋 赵继 曲兴田 王昕

(74) 专利代理机构 吉林长春新纪元专利代理有限公司 22100

代理人 魏征骥

(51) Int. Cl.

G01B 11/00(2006. 01)

G01B 11/24(2006. 01)

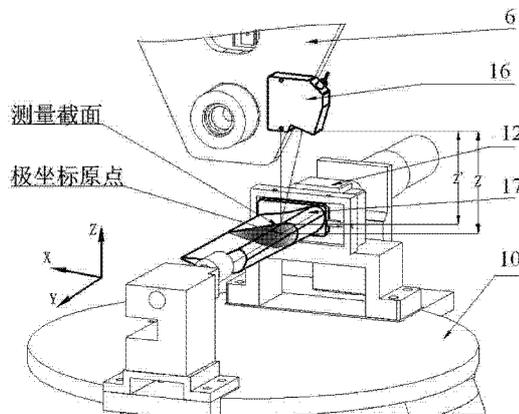
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

(54) 发明名称

一种叶片复杂曲面的原位测量方法

(57) 摘要

本发明涉及一种叶片复杂曲面的原位测量方法,属于机械加工、检测技术领域。将激光位移传感器安装在抛磨机床的工具板上,进行测量点的位置对正;调节工作台高度,沿叶片长度方向等间距选取一组测量截面,通过纵向滑道移动工作台,将激光位移传感器移至叶片某一截面,建立极坐标系,对测量截面进行规划分区,对截面线上局部测点稀疏区域进行等时长补偿测量,用同样的方法测量其余截面线。本发明可在混联抛磨机床上对叶片进行原位测量,利用叶片的非匀速旋转进行采点,有利于减少激光位移传感器运动对测量精度的影响,定位基准一致,避免了数据的坐标转换,减少了二次装夹误差及辅助时间,提高了测量精度和效率。



1. 一种叶片复杂曲面的原位测量方法,其特征在于,包括下列步骤:

- (1) 将激光位移传感器安装在抛磨机床的工具板上,并进行测量点的位置对正;
- (2) 调节工作台高度,保证叶片旋转时不与抛磨工具发生干涉,确定此时夹具顶尖轴线距传感器的竖直距离 Z ;
- (3) 沿叶片长度方向等间距选取 7 个截面作为测量截面;
- (4) 通过纵向滑道移动工作台,使激光传感器位于初始待测截面的正上方;
- (5) 在测量截面内,建立极坐标系;
- (6) 对测量截面进行规划分区,控制翻转夹具电机按截面内各区域的速度要求非匀速旋转一周,由激光位移传感器测得截面线上各点的坐标值 Z_i ,与各点的旋转角度 n_i 共同组成测点的极坐标;
- (7) 对截面线上局部测点稀疏区域进行等时长补偿测量,计算补偿测点极坐标;
- (8) 将激光位移传感器移至下一截面的测量初始位置,用同样的方法测量其余截面线,共获得 7 条截面线的测量数据。

2. 根据权利要求 1 所述的叶片复杂曲面的原位测量方法,其特征在于,所述的激光位移传感器为点光源激光位移传感器。

3. 根据权利要求 1 所述的叶片复杂曲面的原位测量方法,其特征在于,步骤 (1) 所述的测量点的位置对正,是指根据机床 X 向光栅尺反馈的数据确定激光位移传感器 X 向位置,使激光位移传感器在测量每一截面时,其初始位置位于夹持叶片的两顶尖连线上。

4. 根据权利要求 1 所述的叶片复杂曲面的原位测量方法,其特征在于,步骤 (5) 中所述的极坐标系,是指在测量截面内,以旋转轴与测量截面交点为原点,以竖直向上为 0° 方向的极坐标系,且该截面测点均在此极坐标系中表示。

5. 根据权利要求 1 所述的叶片复杂曲面的原位测量方法,其特征在于,步骤 (6) 中所述的叶片非匀速旋转测量方式,具体步骤为:首先,计算测量截面上各点与极坐标原点的距离 d_i ($i = 1, 2, \dots, n$),获得最大值 d_{\max} ,将测量截面线上各点与极坐标原点的距离 d_i 与 d_{\max} 做比值 α ,当 $0.7 < \alpha \leq 1$ 时,定义为远点;当 $0.4 < \alpha \leq 0.7$ 时,定义为正常点;当 $0 < \alpha \leq 0.4$ 时,定义为近点,测量远点区域内的点时,翻转夹具电机的转速 r_{p1} ;测量正常点区域内的点时,翻转夹具电机的转速 r_{p2} ;测量近点区域内的点时,翻转夹具电机的转速 r_{p3} ,为保证各区域测点分布均匀,应使 $r_{p1} < r_{p2} < r_{p3}$,使翻转夹具电机按各个区域的速度要求旋转一周,对叶片进行非匀速旋转测量,激光位移传感器每秒测点一次,测量数据为 Z_i 。

6. 根据权利要求 1 所述的叶片复杂曲面原位测量方法,其特征在于,步骤 (7) 中所述的局部测点稀疏区域,是指待测叶片经区域规划后的远点区域,等时长补偿测量的具体步骤为:保持叶片不动,移动 X 轴,使激光位移传感器进入待测区域,记录此时 X 轴位移;调节激光位移传感器移动速度为 v ,每隔 t 秒位移传感器进行一次测点,通过计算,得到补偿测点的极坐标。

一种叶片复杂曲面的原位测量方法

技术领域

[0001] 本发明属于机械加工、检测技术领域,具体涉及一种基于混联抛磨机床的叶片复杂曲面原位测量方法。

背景技术

[0002] 随着近年来国内电力和航空工业的迅速发展,航空发动机、汽轮机、燃汽轮机、压气机等设备的使用量急剧增加。作为这些设备的关键部件,叶片的市场需求量也随之大大增加。叶片具有种类多、数量大、曲面复杂、加工难度大等特点,它的加工质量对整机性能与寿命的影响举足轻重。在叶片的精整加工过程中,需多次测量、修整加工,以获得较高的形状精度和表面粗糙度。已公开的叶片曲面加工设备,如:德国 Metabo 公司研制的六轴五联动数控叶片砂带磨床;瑞士 Willemin 公司研制的 W518TB 型叶片加工中心;重庆三磨海达研制的 2MY55200-6NC 型数控砂带磨床;北京胜为弘技数控装备有限公司和德阳东汽工模具有限公司联合研制的 MK2200 型叶片砂带磨床。上述设备在叶片精整加工过程中,需在其他设备上进行叶片型面测量,再将叶片移回加工设备进行修整加工,此过程易引入二次装夹误差,辅助时间长,降低了叶片精整加工的精度和效率。叶片加工、测量一体化机床欠缺已成为制约行业发展的瓶颈。

[0003] 目前,叶片主要采用非原位的测量方法,测量过程中测头随设备各坐标轴运动采点,测量精度严重依赖于测量设备本身的运动精度,而且测头在运动过程中采点,不利于保证测量精度的稳定性。

发明内容

[0004] 本发明提供一种叶片复杂曲面的原位测量方法,以解决目前因叶片主要采用非原位的测量方法,而存在测量精度严重依赖于测量设备本身的运动精度,而且测头在运动过程中采点,不利于保证测量精度的稳定性的问题。

[0005] 本发明在前期已开发的专利号:ZL200710056223.X、具有曲面适应性的叶片抛磨光整加工机床的一体化抛磨加工基础上,提出叶片曲面的原位测量方法。

[0006] 本发明采取的技术方案是:包括下列步骤:

[0007] (1) 将激光位移传感器安装在抛磨机床的工具板上,进行测量点的位置对正;

[0008] (2) 调节工作台高度,保证叶片旋转时不与工具板发生干涉,确定此时夹具顶尖轴线距传感器竖直距离 Z ;

[0009] (3) 沿叶片长度方向等间距选取 7 个截面作为测量截面;

[0010] (4) 通过纵向滑道移动工作台,使激光传感器位于初始待测截面的正上方;

[0011] (5) 在待测截面内,建立极坐标系;

[0012] (6) 对测量截面进行规划分区,控制翻转夹具电机,采用叶片非匀速旋转测量方式,按截面内各区域的速度要求非匀速旋转一周,由激光位移传感器测得截面线上各点的坐标值 Z_i ,与各点的旋转角度 n_i 共同组成测点的极坐标,据此计算出测点实际极坐标 $k_i(n_i)$,

$Z-Z_i$) ;

[0013] (7) 对截面线上局部测点稀疏区域进行等时长补偿测量,计算补偿测点极坐标;

[0014] (8) 将激光位移传感器移至下一截面的测量初始位置,用同样的方法测量其余截面线,共获得 7 条截面线的测量数据。

[0015] 本发明所述的激光位移传感器为点光源激光位移传感器。

[0016] 本发明步骤 (1) 所述的测量点的位置对正,是指根据机床 X 向光栅尺反馈的数据确定激光位移传感器 X 向位置,使激光位移传感器在测量每一截面时,其初始位置位于夹持叶片的两顶尖连线上。

[0017] 本发明步骤 (5) 中所述的极坐标系,是指在测量截面内,以旋转轴与测量截面交点为原点,以竖直向上为 0° 方向的极坐标系,且该截面测点均在此极坐标系中表示。

[0018] 本发明步骤 (6) 中所述的叶片非匀速旋转测量方式,具体步骤为:首先,计算测量截面上各点与极坐标原点的距离 d_i ($i = 1, 2, \dots, n$),获得最大值 d_{\max} ,将测量截面线上各点与极坐标原点的距离 d_i 与 d_{\max} 做比值 α ,当 $0.7 < \alpha \leq 1$ 时,定义为远点;当 $0.4 < \alpha \leq 0.7$ 时,定义为正常点;当 $0 < \alpha \leq 0.4$ 时,定义为近点,测量远点区域内的点时,翻转夹具电机的转速 r_{p1} ;测量正常点区域内的点时,翻转夹具电机的转速 r_{p2} ;测量近点区域内的点时,翻转夹具电机的转速 r_{p3} ,为保证各区域测点分布均匀,应使 $r_{p1} < r_{p2} < r_{p3}$,使翻转夹具电机按各个区域的速度要求旋转一周,对叶片进行非匀速旋转测量,激光位移传感器每秒测点一次,测量数据为 Z_i 。

[0019] 本发明步骤 (7) 中所述的局部测点稀疏区域,是指待测叶片经区域规划后的远点区域,等时长补偿测量的具体步骤为:保持叶片不动,移动 X 轴,使激光位移传感器进入待测区域,记录此时 X 轴位移;调节激光位移传感器移动速度为 v ,每隔 t 秒位移传感器进行一次测点,通过计算,得到补偿测点的极坐标。

[0020] 本发明提出叶片曲面的极坐标非匀速原位测量方法,利用激光位移传感器进行非接触测量,测量过程中激光位移传感器保持静止,通过旋转叶片采集测点,使测量精度仅取决于叶片旋转电机的转动精度,降低了测量精度对各轴运动精度的依赖程度。所提出的极坐标非匀速测量方法与混联机床相结合,即避免了二次装夹误差,又实现了叶片曲面的磨抛测一体化加工,提高了叶片精整加工的效率及精度,为叶片的一体化加工提供了具有实用价值的方法和设备。

[0021] 采用本发明的测量方法,测量基准与加工时的定位基准一致,既避免了测量数据的坐标转换,又可减少非原位测量带来的二次装夹误差;降低了测量中对机床导轨精度的依赖程度,测量精度可通过翻转夹具的电机的转动精度来保证;以测点距极坐标原点的距离为依据将测量截面线划分为不同测量区域,不同区域使用不同的转速,并辅以补偿测量,保证了截面线上各区域采点均匀;在主体测量过程中,激光位移传感器保持静止,减少激光位移传感器运动带来的不稳定因素对测量精度的影响,提高了测量精度;本发明在混联机床的抛磨一体化加工基础上,进一步实现了原位测量功能,为提高叶片精整加工的效率及精度提供重要保证。

[0022] 本发明的有益效果:

[0023] 1. 采用本发明的测量方法,可在叶片加工设备上进行原位测量并获得叶片上测点的极坐标数据,测量基准与加工时的定位基准一致,既避免了测量数据的坐标转换,又可减

少非原位测量带来的二次装夹误差。

[0024] 2. 本发明降低了一般原位测量中对机床导轨精度的依赖程度,通过精确控制叶片的旋转角度获得叶片上各测点的极坐标值,而叶片的旋转精度可通过翻转夹具的电机的转动精度来保证。

[0025] 3. 主体测量方式为非匀速旋转测量,以测点距极坐标原点的距离为依据,划分了不同测量区域,不同区域使用不同的转速,并在远点稀疏区域进行了补偿测量,保证了截面上各处采点均匀,提高了测量效率及精度。

[0026] 4. 在主体测量过程中,激光位移传感器保持静止,利用叶片的转动实现不同测点的测量,减少激光位移传感器运动带来的不稳定因素对测量精度的影响,提高了测量精度。

[0027] 5. 本发明在混联机床的抛磨一体化加工基础上,进一步实现了原位测量功能,实现了叶片复杂曲面的磨抛测一体化加工,进一步完善了该混联机床的功能,为提高叶片精整加工的效率及精度提供重要保证。

附图说明

[0028] 图 1 是叶片的测量截面示意图,

[0029] 图 2 是具有曲面适应性的叶片抛磨光整加工机床结构构型图;

[0030] 图 3 是机床处于加工状态时的局部放大图,

[0031] 图 4 是机床处于测量状态时的局部放大图,

[0032] 图 5 是测量截面线的规划分区图;

[0033] 图 6 是测量截面线上的测点分布图;

[0034] 图 7 是图 6 圆圈处局部放大图;

[0035] 图 8 是局部补偿测量区域测点的极坐标计算示意图。

具体实施方式

[0036] 包括下列步骤:

[0037] (1) 将激光位移传感器安装在抛磨机床的工具板上,进行测量点的位置对正;

[0038] (2) 调节工作台高度,保证叶片旋转时不与工具板发生干涉,确定此时夹具顶尖轴线距传感器竖直距离 Z ;

[0039] (3) 沿叶片长度方向等间距选取 7 个截面作为测量截面;

[0040] (4) 通过纵向滑道移动工作台,使激光传感器位于初始待测截面的正上方;

[0041] (5) 在待测截面内,建立极坐标系;

[0042] (6) 对测量截面进行规划分区,控制翻转夹具电机,采用叶片非匀速旋转测量方式,按截面内各区域的速度要求非匀速旋转一周,由激光位移传感器测得截面线上各点的坐标值 Z_i ,与各点的旋转角度 n_i 共同组成测点的极坐标,据此计算出测点实际极坐标 $k_i(n_i, Z-Z_i)$;

[0043] (7) 对截面线上局部测点稀疏区域进行等时长补偿测量,计算补偿测点极坐标;

[0044] (8) 将激光位移传感器移至下一截面的测量初始位置,用同样的方法测量其余截面线,共获得 7 条截面线的测量数据。

[0045] 本发明所述的激光位移传感器为点光源激光位移传感器。

[0046] 本发明步骤 (1) 所述的测量点的位置对正,是指根据机床 X 向光栅尺反馈的数据确定激光位移传感器 X 向位置,使激光位移传感器在测量每一截面时,其初始位置位于夹持叶片的两顶尖连线上。

[0047] 本发明步骤 (5) 中所述的极坐标系,是指在测量截面内,以旋转轴与测量截面交点为原点,以竖直向上为 0° 方向的极坐标系,且该截面测点均在此极坐标系中表示。

[0048] 本发明步骤 (6) 中所述的叶片非匀速旋转测量方式,具体步骤为:首先,计算测量截面上各点与极坐标原点的距离 d_i ($i = 1, 2, \dots, n$),获得最大值 d_{\max} ,将测量截面线上各点与极坐标原点的距离 d_i 与 d_{\max} 做比值 α ,当 $0.7 < \alpha \leq 1$ 时,定义为远点;当 $0.4 < \alpha \leq 0.7$ 时,定义为正常点;当 $0 < \alpha \leq 0.4$ 时,定义为近点,测量远点区域内的点时,翻转夹具电机的转速 r_{p1} ;测量正常点区域内的点时,翻转夹具电机的转速 r_{p2} ;测量近点区域内的点时,翻转夹具电机的转速 r_{p3} ,为保证各区域测点分布均匀,应使 $r_{p1} < r_{p2} < r_{p3}$,使翻转夹具电机按各个区域的速度要求旋转一周,对叶片进行非匀速旋转测量,激光位移传感器每秒测点一次,测量数据为 Z_i 。

[0049] 本发明步骤 (7) 中所述的局部测点稀疏区域,是指待测叶片经区域规划后的远点区域,等时长补偿测量的具体步骤为:保持叶片不动,移动 X 轴,使激光位移传感器进入待测区域,记录此时 X 轴位移;调节激光位移传感器移动速度为 v ,每隔 t 秒位移传感器进行一次测点,通过计算,得到补偿测点的极坐标。

[0050] 下边以在前期已开发的具有曲面适应性的叶片抛磨光整加工机床(专利号:ZL200710056223.X)的一体化抛磨加工基础上,进一步说明书本发明叶片复杂曲面的原位测量方法与装置。

[0051] 如图 2 所示,机架 11 与底座 1 固定连接,纵向滑道 9 与底座固定连接,纵向滑块 7 与静平台 13 底部固定连接,纵向滑块 7 与纵向滑道 9 滑动连接,纵向光栅尺 15 与纵向滑道固定连接,电动缸 3 下端通过转动副 2 与静平台 13 转动连接、上端通过球铰链 4 与动平台 10 铰接,夹具系统 12 与动平台 10 固定连接,横向滑道 8 与机架上方固定连接,横向光栅尺 14 与横向滑道固定连接,工具板 6 通过滑块与横向滑道 8 滑动连接,抛磨工具头 5 与工具板 6 转动连接,激光位移传感器 16 与工具板 6 侧面固定连接。

[0052] 包括下列步骤:

[0053] (1) 将激光位移传感器 16 安装在抛磨机床的工具板 6 上,根据 X 向光栅尺 14 反馈的数据确定激光位移传感器 X 向位置,使其在测量每一截面时,其初始位置位于夹持叶片 17 的两顶尖连线上。

[0054] (2) 调节工作台 10 的高度,保证叶片旋转时不与工具板 6 发生干涉,利用激光位移传感器 16 测量其与静平台 10 的竖直距离,根据反馈的数值 Z_c 和夹具顶尖与静平台 10 的已知竖直距离 Z_d ,利用公式

$$[0055] \quad Z = Z_c - Z_d$$

[0056] 计算出激光位移传感器 16 距夹具顶尖轴线的竖直距离 Z 值;

[0057] (3) 沿叶片长度方向等间距选取 7 个截面,包括左、右端面;

[0058] (4) 通过纵向滑道 9 移动工作台,将激光位移传感器 16 移至叶片测量截面 1;

[0059] (5) 在测量截面 1 内,建立测量极坐标系,该坐标系以叶片旋转轴与测量截面 1 交点为原点,竖直向上为 0° 方向;

[0060] (6) 进行测量截面 1 的测量:首先,计算测量截面 1 上各点与极坐标原点的距离 d_i ($i = 1, 2, \dots, n$), 获得最大值 d_{\max} , 将测量截面线 1 上各点与极坐标原点的距离 d_i 与 d_{\max} 做比值 α , 当 $0.7 < \alpha \leq 1$ 时, 定义为远点, 如图 5 中 1、7 区域; 当 $0.4 < \alpha \leq 0.7$ 时, 定义为正常点, 如图 5 中 2、4、6 区域; 当 $0 < \alpha \leq 0.4$ 时, 定义为近点, 如图 5 中的 3、5 区域; 测量远点区域内的点时, 翻转夹具电机的转速 r_{p1} ; 测量正常点区域内的点时, 翻转夹具电机的转速 r_{p2} ; 测量近点区域内的点时, 翻转夹具电机的转速 r_{p3} ; 为保证各区域测点分布均匀, 应使 $r_{p1} < r_{p2} < r_{p3}$; 最终控制翻转夹具电机按各个区域的速度要求旋转一周, 对叶片进行非匀速旋转测量, 测量截面线上的测点分布如图 6; 激光位移传感器 16 每秒测点一次, 测量数据为 Z_i , n_i 为测点的旋转角度, 由公式:

$$[0061] \quad n_i = \sum r_{pi} t_{pi} \quad (i = 1, 2, \dots, 7)$$

[0062] 得出, 其中, t_{pi} 为测量该点时, 已经过的各区域所用的时间, 据此计算出测点 k_i 的实际坐标:

$$[0063] \quad (n_i, Z-Z_i) \quad (i = 0, 1, 2, \dots, m)$$

[0064] 此为测量截面的主体测点极坐标数据;

[0065] (7) $0.7 < \alpha \leq 1$ 的远点区域为测点稀疏区域, 为了保证测量精度, 对该区域进行等时长补偿测量, 补偿测量的具体方法为: 保持叶片不动, 使用横向滑道 8 带动激光位移传感器 16 进入待测区域, 记录此时 X 轴位移为 X; 使用横向滑道 8 带动激光位移传感器移动, 每隔 t 秒位移传感器进行一次测点, 记录测量数据为 Z'_j ; 通过如下计算, 可得被测点 k_j (此为区域 1 计算公式, 区域 7 内补偿点坐标可用同样方法获得) 的极坐标为 (j 表示当前所测的为第 j 个点):

[0066]

$$\left(360^\circ - \arctan \frac{X + v(jt)}{Z - Z'_j}, \sqrt{[X + v(jt)]^2 + (Z - Z'_j)^2} \right) \quad (j = 0, 1, 2, \dots, n)$$

[0067] 此为测量截面的补偿测点极坐标数据, 补偿测量区域测点的极坐标计算如图 8, 在同一极坐标系中, 步骤 (6) 的主体测点极坐标数据与步骤 (7) 的补偿测点极坐标数据共同组成测量截面 1 的测点极坐标数据;

[0068] (8) 使用横向滑道 8 带动激光位移传感器 16 回到两顶尖连线处, 通过纵向滑道 9 将激光位移传感器移至截面 2, 用同样的方法测量其余 6 条截面线, 共获得 7 条截面线的测量数据。

[0069] 本发明仅以 7 个测量截面为例来具体说明一种实施方式, 而测量截面可以选取为 3 条或 3 条以上, 任何采用此种测量方式的其他发明如果与本发明采用的测量方法一致, 那么不论其利用几条截面线测量, 均属于本发明的保护范围之内。

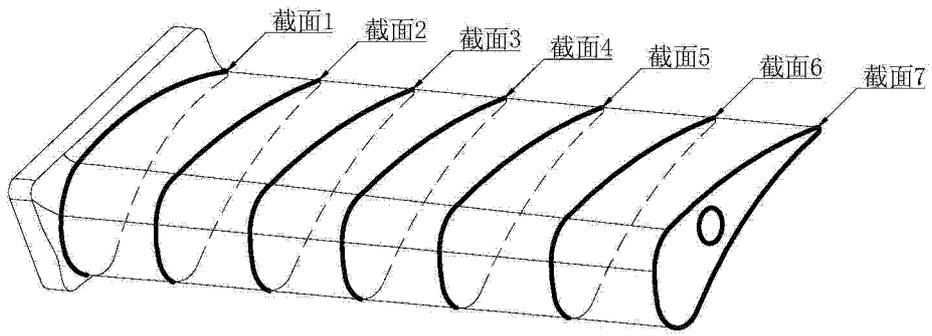


图 1

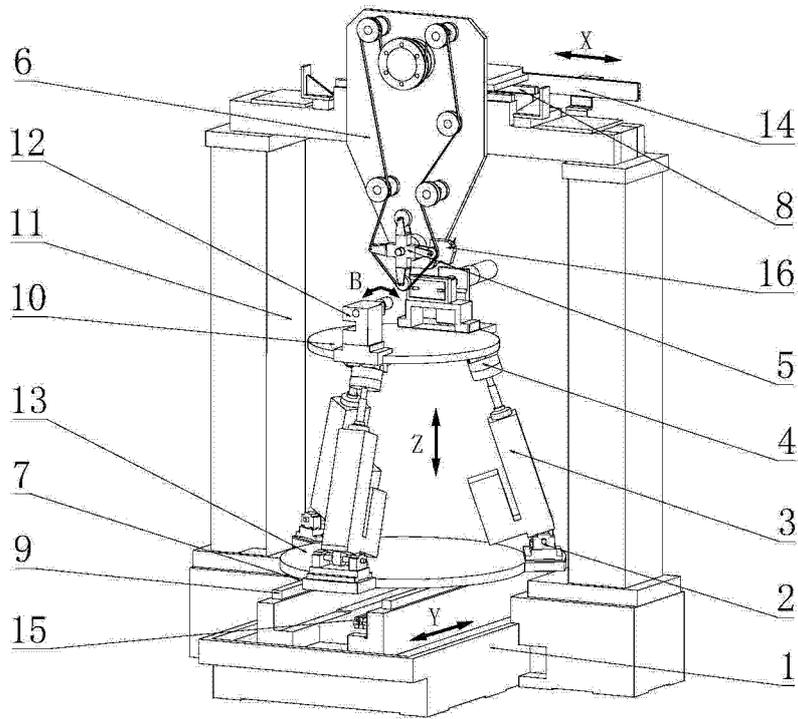


图 2

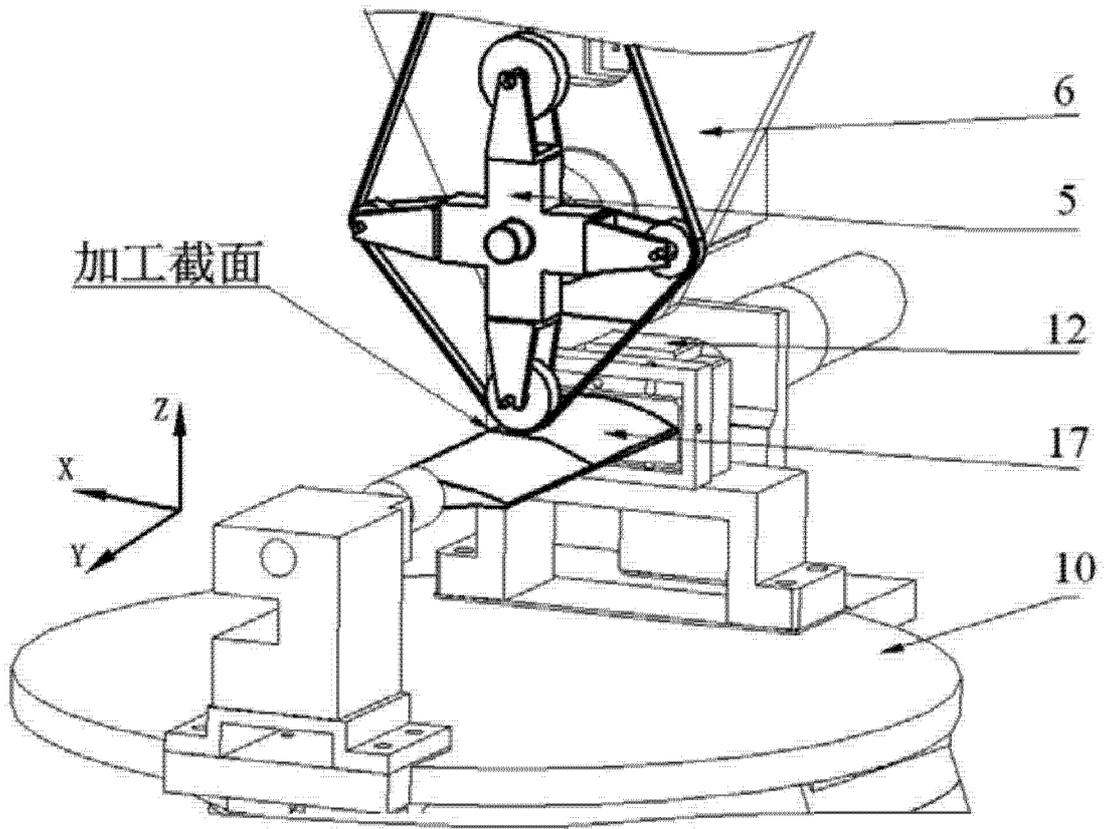


图 3

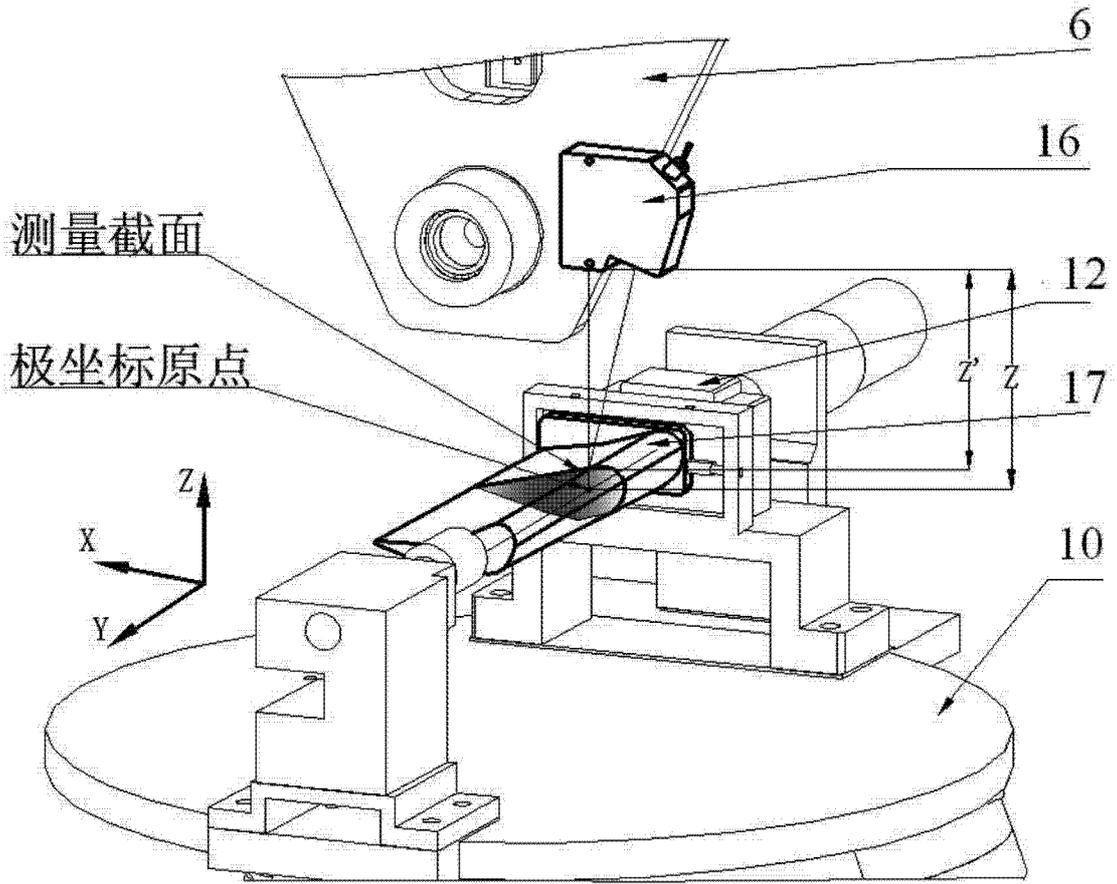


图 4

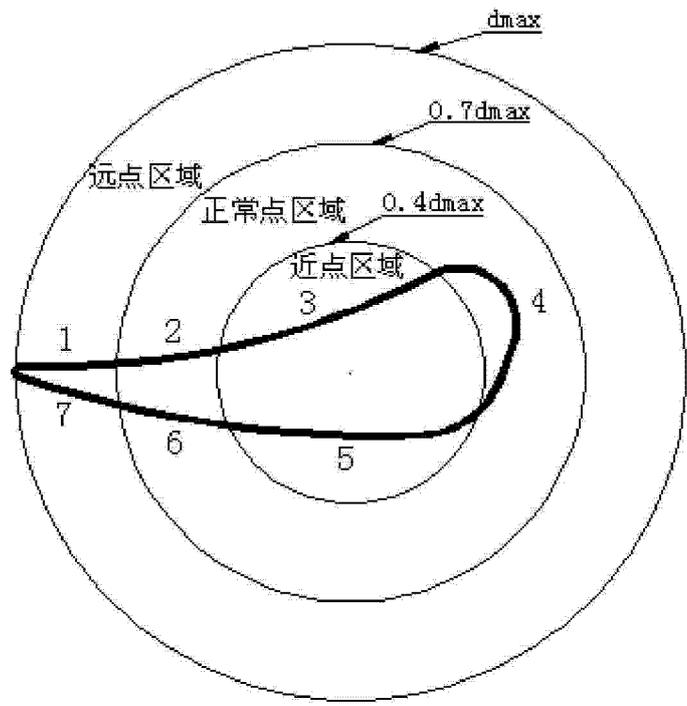


图 5

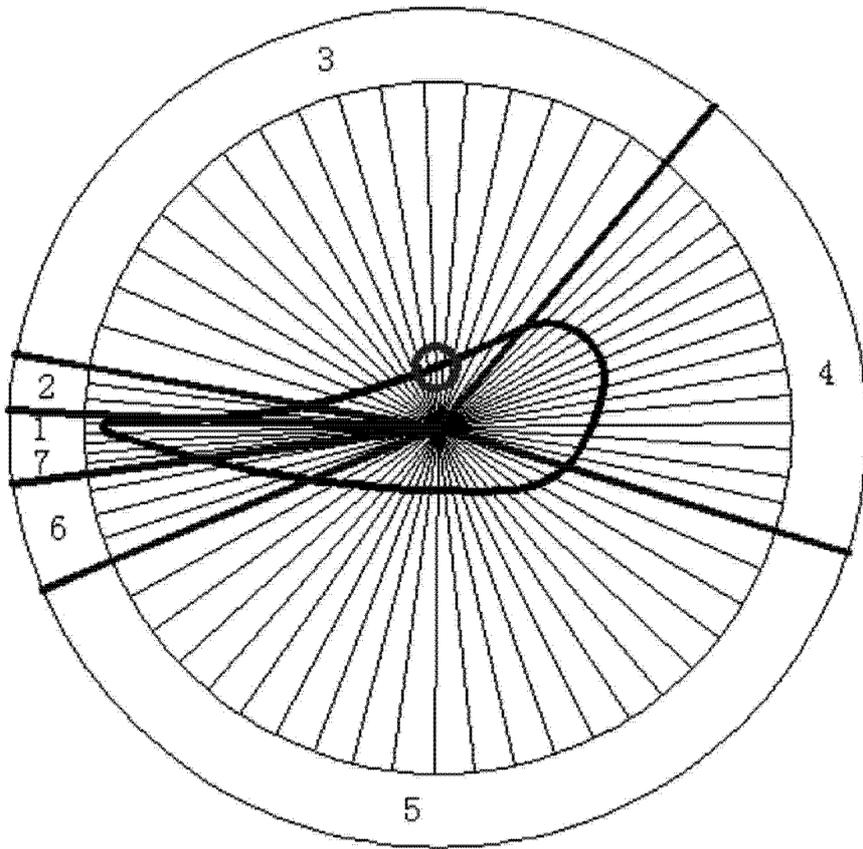


图 6

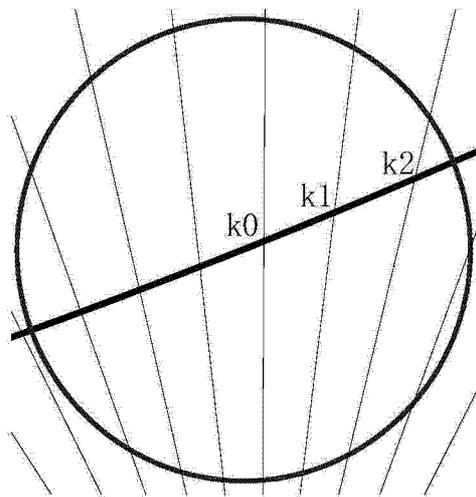


图 7

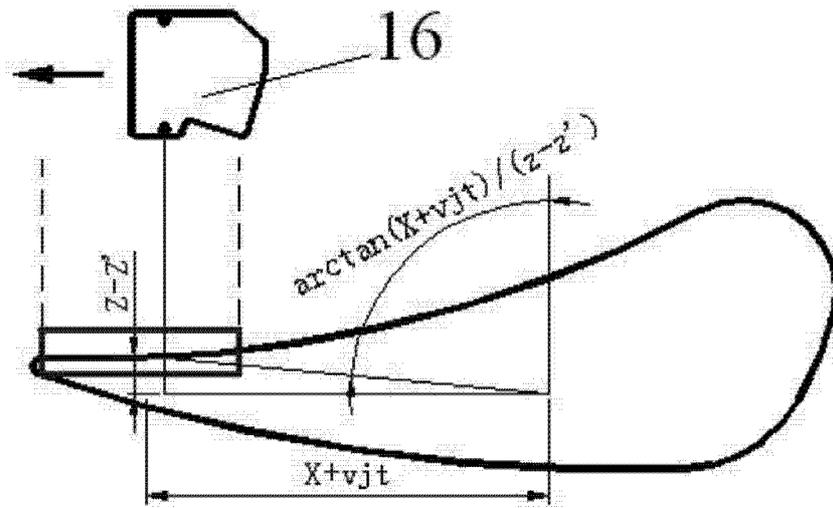


图 8