



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103776365 A

(43) 申请公布日 2014. 05. 07

(21) 申请号 201410051756. 9

(22) 申请日 2014. 02. 14

(71) 申请人 哈尔滨工业大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西大直街 92 号

(72) 发明人 赵勃 谭久彬 王雷

(51) Int. Cl.

G01B 7/30(2006. 01)

G01B 7/312(2006. 01)

G01B 7/305(2006. 01)

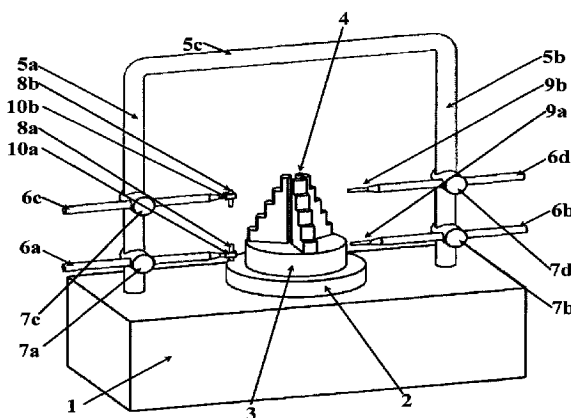
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

基于径向与轴向基准的航空发动机多轴转子
装配方法与装置

(57) 摘要

基于径向与轴向基准的航空发动机多轴转子
装配方法与装置属于机械装配技术。其测量方
法与装置是基于磁浮回转轴系确定回转基准；依
据光电编码器确定转台的角度定位；基于四测头
测量装置，提取转子径向装配面的径向误差和轴
向装配面的倾斜误差，得到该转子对装配后转子
同轴度的影响权值；分别测量装配所需的全部转
子，得到各转子对装配后转子同轴度的影响权值；
将各转子的权值进行矢量优化，得到各转子的装
配角度。本发明可有效解决航空发动机转子装配
后同轴度低的问题，具有转子装配后同轴度高、减
小振动、易于安装、灵活度高、改善发动机性能
的特点。



1. 一种基于径向与轴向基准的航空发动机多轴转子装配方法,其特征在于该测量方法是:将被测转子放置于调心调倾工作台上固定;将测量轴向安装基准面的轴向电涡流传感器测量被测转子的轴向安装基准面,用于调倾;测量径向安装基准面的径向电涡流传感器测量径向安装基准面,用于调心;磁浮转台经调心调倾工作台带动被测转子以 $6 \sim 10r / \text{min}$ 的速度匀速旋转,测量轴向安装基准面的轴向电涡流传感器在被测转子的轴向安装基准面上进行等间隔采样,测量径向安装基准面的径向电涡流传感器在被测转子的径向安装基准面上进行等间隔采样;采样点数应满足每圈 $1000 \sim 2000$ 个点;将被测转子的径向安装基准面上的采样数据通过最小二乘圆拟合,评定出偏心量,将被测转子的轴向安装基准面上采样数据通过最小二乘平面拟合,评定出倾斜量;根据偏心量的大小和角度,调节调心调倾工作台的调心旋钮;根据倾斜量的大小和角度,调节调心调倾工作台的调倾旋钮,直至调心调倾工作台满足径向基准面偏心量的大小在 $0 \sim 3 \mu\text{m}$ 范围内,轴向基准面倾斜量的大小在 $0 \sim 2''$ 范围内;将测量轴向安装测量面的轴向电涡流传感器测量被测转子的轴向安装测量面,测量径向安装测量面的径向电涡流传感器测量被测转子的径向安装测量面;磁浮转台以 $6 \sim 10r / \text{min}$ 的速度匀速旋转,测量轴向安装测量面的轴向电涡流传感器在被测转子的轴向安装测量面上等间隔采样,测量径向安装测量面的径向电涡流传感器分别在径向安装测量面上等间隔采样;采样点数应满足每圈 $1000 \sim 2000$ 个点;将测量径向安装测量面的径向电涡流传感器在被测转子的径向安装测量面上采样的数据通过最小二乘圆拟合并评定出同心度;将测量轴向安装测量面的轴向电涡流传感器在被测转子的轴向安装测量面上采样的数据通过最小二乘平面拟合并评定出垂直度;结合轴向安装测量面的半径和该被测转子与最终装配转子的高度差,得到该转子对装配后转子同轴度的影响权值;分别测量装配所需的全部转子,得到各转子对装配后转子同轴度的影响权值;将各转子的权值采用遗传算法进行矢量优化,得到各转子的装配角度,转子同轴度的影响权值的计算方式为:

$\text{CoaxWeight} = C\angle\varphi - \frac{H}{R}$, 式中: C 表示被测转子径向安装测量面的同心度, φ 表示径向安装测量面拟合圆心的偏心角, H 表示被测转子与最终装配转子的高度差, R 表示轴向安装测量面的半径, P 表示被测转子轴向安装测量面的垂直度, θ 表示轴向安装测量面的拟合平面最高点所在的角度。

2. 一种基于径向与轴向基准的航空发动机多轴转子装配装置,其特征是磁浮轴系 (2) 嵌套在基座 (1) 中心位置上,所述磁浮轴系 (2) 由磁浮主轴 (2a)、工作台 (2b)、磁浮轴上压盘 (2c)、磁浮轴下压盘 (2d)、光电编码器 (2e)、光电编码器码盘 (2f)、上永磁体 (2g1)、下永磁体 (2g2)、上线圈 (2h1) 和下线圈 (2h2) 构成,所述工作台 (2b) 配置在磁浮轴上压盘 (2c) 上端部上,磁浮轴上压盘 (2c) 配置在磁浮主轴 (2a) 上端部上,磁浮主轴 (2a) 配置在磁浮轴下压盘 (2d) 上端部上,光电编码器码盘 (2f) 嵌套在磁浮轴下压盘 (2d) 外环上,光电编码器 (2e) 固配在基座 (1) 中心位置内侧下部,且位于光电编码器码盘 (2f) 外部,上永磁体 (2g1) 套在磁浮主轴 (2a) 外环上,并固定在磁浮轴上压盘 (2c) 下端部,上线圈 (2h1) 套在磁浮主轴 (2a) 外环上,并固定在基座 (1) 内部,距上永磁体 (2g1) 下方 $5\text{--}10\text{cm}$ 处;下永磁体 (2g2) 套在磁浮主轴 (2a) 外环上,并固定在磁浮轴下压盘 (2d) 上端部,下线圈 (2h2) 套在磁浮主轴 (2a) 外环上,并固定在基座 (1) 内部,距下永磁体 (2g2) 上方 $5\text{--}10\text{cm}$ 处;调心

调倾工作台 (3) 配置在磁浮轴系 (2) 中心位置上,三爪电动卡盘 (4) 配置在调心调倾工作台 (3) 中心位置上;门型左立柱 (5a) 和门型右立柱 (5b) 对称分布在磁浮轴系 (2) 的两侧,且固装在基座 (1) 上,门型横梁 (5c) 两端与门型左立柱 (5a) 上端和门型右立柱 (5b) 上端固连;在门型左立柱 (5a) 上从上至下依次可移动调节地套装左上柱杆连接件 (7c) 和左下柱杆连接件 (7a),左上横向测杆 (6c) 水平嵌套在左上柱杆连接件 (7c) 上,上传感器转接件 (10b) 与左上横向测杆 (6c) 固连,上轴向电涡流传感器 (8b) 与上传感器转接件 (10b) 固连;左下横向测杆 (6a) 水平嵌套在左下柱杆连接件 (7a) 上,下传感器转接件 (10a) 与左下横向测杆 (6a) 固连,下轴向电涡流传感器 (8a) 与下传感器转接件 (10a);在门型右立柱 (5b) 上从上至下依次可移动调节地套装右上柱杆连接件 (7d) 和右下柱杆连接件 (7b),右上横向测杆 (6d) 水平嵌套在右上柱杆连接件 (7d) 上,上径向电涡流传感器 (9b) 与右上横向测杆 (6d) 固连;右下横向测杆 (6b) 水平嵌套在右下柱杆连接件 (7b) 上,下径向电涡流传感器 (9a) 与右下横向测杆 (6b) 固连。

基于径向与轴向基准的航空发动机多轴转子装配方法与装置

技术领域

[0001] 本发明属于机械装配技术,主要涉及一种基于径向与轴向基准的航空发动机多轴转子装配方法与装置。

背景技术

[0002] 航空发动机装配是航空发动机制造过程中的最后环节,也是最为重要的制造环节之一。在已有的航空发动机设计方案和加工技术水平条件下,装配的质量和工作效率对于发动机的质量、性能和生产效率具有重要影响。所以在装配过程中要尽可能的提高安装后转子的同轴度,进而减小航空发动机的振动,改善航空发动机的性能。然而,在现实生产中航空发动机的装配是完全手工装配,装配精度的高低和稳定与否完全依赖于装配工人的操作经验和技术水平,缺少一种高速有效的指导航空发动机转子装配的方法,进而提高装配效率,减小航空发动机振动,改善航空发动机的性能。

[0003] 随着航空发动机装配测试技术越来越受到重视,航空发动机装配测试技术越来越受到重视,并且成为研究的热点。越来越多的研究人员针对航空发动机转子进行了深入的讨论,劳斯莱斯公司提出一种方案(System and method for improving the damage tolerance of a rotor assembly。欧洲专利公开号:EP2525049A2),主要通过将各子测试系统得到转子各位置的应力信号,主系统将各子系统采集的信号进行分析,从各转子的容损参数分析对装配的影响,进而改善了航空发动机转子的装配。该方法存在的问题在于:并没有分析转子的几何量方面对装配的影响,无法改善几何量对装配的影响。

[0004] 西安交通大学提出一种航空发动机转子装配性能检测方法(一种航空发动机转子装配性能检测方法。公开号:CN101799354A)。该方法首先采用激振器激振航空发动机转子,利用振动传感器和信号采集系统软件获得一个多载波耦合的航空发动机转子的脉冲响应信号;然后对所获得的一个多载波耦合的航空发动机转子的脉冲响应信号采用双树复小波变换方法进行分析,获得八个单载波的航空发动机转子的脉冲响应子信号;最后对所获得的八个单载波的航空发动机转子的脉冲响应子信号提取平均装配性能指标,若所得的平均装配性能指标值大于或等于 10,则判定该航空发动机转子装配合格,若所得的平均值小于 10,则判定不合格,需要返工重修。该方法存在的问题在于:没有对航空发动机转子装配进行指导。

[0005] 罗信精密零件(上海)有限公司提出一种测量同轴度装备(一种同轴度测量仪。公开号:CN202024752U)。该装置包括设置在仪器主体上的一对由同步机构同步控制转动的传动主轴,该传动主轴内端分别对应设置有测量头和定位基准面;所述的测量头之间位置上方具有传感器测头。它主要解决现有精密零件的同轴度、跳动的测量。该方法存在的问题在于:仅仅测量被测件的同轴度,并没有解决转子装配后同轴度差的问题。

[0006] 沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司提出一种间隙测量方法(发动机转子叶尖径向间隙非接触式测量方法。公开号:CN102175135A)。该方法采用电容法测量技术,

测量步骤如下,首先组装测量系统、标定传感器,确定叶尖径向间隙与电压之间的关系,再将传感器固定在叶片上,最后测量发动机转子叶尖径向间隙。该方法存在的问题在于:没有考虑转子装配过程中轴向安装面对转子装配后的影响。

[0007] 航空发动机装配的测试对象是涡轮静子和转子,在部件加工精度满足要求的条件下,最终检验靠安装配合后的状态决定,评定的指标主要是装配后转子的同轴度参数。发动机旋转产生高压,它的转子由多个组合在一起的单部件组成,每个部件的回转轴与整个发动机的轴线重合时最为理想。高性能发动机工作时的高速旋转速度大于 10000rpm,单部件轴向或径向偏摆必然会造成涡轮盘中心偏离发动机转动轴线,在这样的条件下会产生非常大的离心力,造成转子转动的不平衡,造成发动机振动,因而保证各部件装配后的同轴度是安装的重点和难点。

[0008] 一个未使用同轴度优化方法的模型装配,各个部件的轴向和径向由于加工精度限制存在跳动、偏心、倾斜等误差。如果直接随机地进行装配,就可能形成类似于“香蕉”的弯曲情况,即上面部件累积了下面各个部件的偏心或倾斜误差,造成装配后整体的偏摆和倾斜巨大,导致发动机转子同轴度非常差,难于满足使用要求。

[0009] 目前,国内发动机装配依然采用传统的装配方法,以千分表人工手动测试为主。按照从下到上的顺序装配发动机,装配一个部件之后进行测量,确保每次增加部件后的整体能够满足同轴度的阈值条件,然后再向上安装另一个部件。每次都以前一个部件作为基准,最终要求整体的同轴度在一定范围内。这种方法耗费大量的时间,并且返工的可能性大,非常影响安装的效率和一次成功率,通常一次成功的装配需要 4 至 5 天。而且,因为不是最佳装配位置,通常需要拆装 4 至 5 次,还需要工人凭丰富经验进行装配,每次装配都需要经历热加工和冷加工。所以当前航空发动机装配方法安装效率低,不易安装,而且装配后同轴度差,影响发动机性能。

发明内容

[0010] 针对上述现有技术存在的不足,提出一种基于径向与轴向基准的航空发动机多轴转子装配方法与装置,以解决航空发动机转子装配后同轴度低的问题,达到转子装配后同轴度高、减小振动、易于安装、灵活度高、改善发动机性能的目的。

[0011] 本发明的目的是这样实现的:

[0012] 一种基于径向与轴向基准的航空发动机多轴转子装配方法,该测量方法步骤如下:

[0013] 将被测转子放置于调心调倾工作台上固定;将测量轴向安装基准面的轴向电涡流传感器测量被测转子的轴向安装基准面,用于调倾;测量径向安装基准面的径向电涡流传感器测量径向安装基准面,用于调心;磁浮转台经调心调倾工作台带动被测转子以 6 ~ 10r / min 的速度匀速旋转,测量轴向安装基准面的轴向电涡流传感器在被测转子的轴向安装基准面上进行等间隔采样,测量径向安装基准面的径向电涡流传感器在被测转子的径向安装基准面上进行等间隔采样;采样点数应满足每圈 1000 ~ 2000 个点;将被测转子的径向安装基准面上的采样数据通过最小二乘圆拟合,评定出偏心量,将被测转子的轴向安装基准面上采样数据通过最小二乘平面拟合,评定出倾斜量;根据偏心量的大小和角度,调节调心调倾工作台的调心旋钮;根据倾斜量的大小和角度,调节调心调倾工作台的调倾旋

钮,直至调心调倾工作台满足径向基准面偏心量的大小在 $0 \sim 3 \mu\text{m}$ 范围内,轴向基准面倾斜量的大小在 $0 \sim 2''$ 范围内;将测量轴向安装测量面的轴向电涡流传感器测量被测转子的轴向安装测量面,测量径向安装测量面的径向电涡流传感器测量被测转子的径向安装测量面;磁浮转台以 $6 \sim 10\text{r} / \text{min}$ 的速度匀速旋转,测量轴向安装测量面的轴向电涡流传感器在被测转子的轴向安装测量面上等间隔采样,测量径向安装测量面的径向电涡流传感器分别在径向安装测量面上等间隔采样;采样点数应满足每圈 $1000 \sim 2000$ 个点;将测量径向安装测量面的径向电涡流传感器在被测转子的径向安装测量面上采样的数据通过最小二乘圆拟合并评定出同心度;将测量轴向安装测量面的轴向电涡流传感器在被测转子的轴向安装测量面上采样的数据通过最小二乘平面拟合并评定出垂直度;结合轴向安装测量面的半径和该被测转子与最终装配转子的高度差,得到该转子对装配后转子同轴度的影响权值;分别测量装配所需的全部转子,得到各转子对装配后转子同轴度的影响权值;将各转子的权值采用遗传算法进行矢量优化,得到各转子的装配角度,转子同轴度的影响权值的计算方式为: $\text{CoaxWeight} = C \angle \varphi - \frac{H}{R} P \angle \theta$,式中:C表示被测转子径向安装测量面的同心度, φ 表示径向安装测量面拟合圆心的偏心角,H表示被测转子与最终装配转子的高度差,R表示轴向安装测量面的半径,P表示被测转子轴向安装测量面的垂直度, θ 表示轴向安装测量面的拟合平面最高点所在的角度。

[0014] 一种基于径向与轴向基准的航空发动机多轴转子装配装置的结构是磁浮轴系嵌套在基座中心位置上,所述磁浮轴系由磁浮主轴、工作台、磁浮轴上压盘、磁浮轴下压盘、光电编码器、光电编码器码盘、上永磁体、下永磁体、上线圈和下线圈构成,所述工作台配置在磁浮轴上压盘上端部上,磁浮轴上压盘配置在磁浮主轴上端部上,磁浮主轴配置在磁浮轴下压盘上端部上,光电编码器码盘嵌套在磁浮轴下压盘外环上,光电编码器固配在基座中心位置内侧下部,且位于光电编码器码盘外部,上永磁体套在磁浮主轴外环上,并固定在磁浮轴上压盘下端部,上线圈套在磁浮主轴外环上,并固定在基座内部,距上永磁体下方 $5\text{--}10\text{cm}$ 处;下永磁体套在磁浮主轴外环上,并固定在磁浮轴下压盘上端部,下线圈套在磁浮主轴外环上,并固定在基座内部,距下永磁体上方 $5\text{--}10\text{cm}$ 处;调心调倾工作台配置在磁浮轴系中心位置上,三爪电动卡盘配置在调心调倾工作台中心位置上;门型左立柱和门型右立柱对称分布在磁浮轴系的两侧且固装在基座上,门型横梁两端与门型左立柱上端和门型右立柱上端固连;在门型左立柱上从上至下依次可移动调节地套装左上柱杆连接件和左下柱杆连接件,左上横向测杆水平嵌套在左上柱杆连接件上,上传感器转接件与左上横向测杆固连,上轴向电涡流传感器与上传感器转接件固连;左下横向测杆水平嵌套在左下柱杆连接件上,下传感器转接件与左下横向测杆固连,下轴向电涡流传感器与下传感器转接件;在门型右立柱上从上至下依次可移动调节地套装右上柱杆连接件和右下柱杆连接件,右上横向测杆水平嵌套在右上柱杆连接件上,上径向电涡流传感器与右上横向测杆固连;右下横向测杆水平嵌套在右下柱杆连接件上,下径向电涡流传感器与右下横向测杆固连。

[0015] 与现有技术相比,本发明的特点是:

[0016] 本发明通过测量各转子的同心度和垂直度能够得到各转子的同轴度权值,再将各转子的同轴度权值进行矢量优化,就能得到指导安装角度,节省 40% 安装时间和费用, 98% 的一次安装成功率,可预测安装进度,改善发动机稳定性,减小发动机振动,节省发动机燃料消耗,减小 CO_2 排放,减小发动机噪声污染。

附图说明：

[0017] 图 1 是四测头测量装置结构示意图

[0018] 图 2 是磁浮轴系结构示意图

[0019] 图中件号：1- 基座，2- 磁浮轴系，2a- 磁浮主轴，2b- 工作台，2c- 磁浮轴上压盘，2d- 磁浮轴下压盘，2e- 光电编码器，2f- 光电编码器码盘，2g1- 上永磁体，2g2- 下永磁体，2h1- 上线圈，2h2- 下线圈，3- 调心调倾工作台，4- 三爪电动卡盘，5a- 门型左立柱，5b- 门型右立柱，5c- 门型横梁，6a- 左下横向测杆，6b- 右下横向测杆，6c- 左上横向测杆，6d- 右上横向测杆，7a- 左下柱杆连接件，7b- 右下柱杆连接件，7c- 左上柱杆连接件，7d- 右上柱杆连接件，8a- 下轴向电涡流传感器，8b- 上轴向电涡流传感器，9a- 下径向电涡流传感器，9b- 上径向电涡流传感器，10a- 下传感器转接件，10b- 上传感器转接件。

具体实施方式

[0020] 下面结合附图对本发明作进一步详细描述：

[0021] 一种基于径向与轴向基准的航空发动机多轴转子装配方法与装置，所述方法与装置是：三爪电动卡盘 4 配置在调心调倾工作台 3 中心位置上。门型左立柱 5a 和门型右立柱 5b 对称分布在磁浮轴系 2 的两侧且固装在基座 1 上，门型横梁 5c 两端与门型左立柱 5a 上端和门型右立柱 5b 上端固连；在门型左立柱 5a 上从上至下依次可移动调节地套装左上柱杆连接件 7c 和左下柱杆连接件 7a，左上横向测杆 6c 水平嵌套在左上柱杆连接件 7c 上，上传感器转接件 10b 与左上横向测杆 6c 固连，上轴向电涡流传感器 8b 与上传感器转接件 10b 固连；左下横向测杆 6a 水平嵌套在左下柱杆连接件 7a 上，下传感器转接件 10a 与左下横向测杆 6a 固连，下轴向电涡流传感器 8a 与下传感器转接件 10a；在门型右立柱 5b 上从上至下依次可移动调节地套装右上柱杆连接件 7d 和右下柱杆连接件 7b，右上横向测杆 6d 水平嵌套在右上柱杆连接件 7d 上，上径向电涡流传感器 9b 与右上横向测杆 6d 固连；右下横向测杆 6b 水平嵌套在右下柱杆连接件 7b 上，下径向电涡流传感器 9a 与右下横向测杆 6b 固连。磁浮轴系 2 嵌套在基座 1 中心位置上，所述磁浮轴系 2 由磁浮主轴 2a、工作台 2b、磁浮轴上压盘 2c、磁浮轴下压盘 2d、光电编码器 2e、光电编码器码盘 2f、上永磁体 2g1、下永磁体 2g2、上线圈 2h1 和下线圈 2h2 构成，所述工作台 2b 配置在磁浮轴上压盘 2c 上端部上，磁浮轴上压盘 2c 配置在磁浮主轴 2a 上端部上，磁浮主轴 2a 配置在磁浮轴下压盘 2d 上端部上，光电编码器码盘 2f 嵌套在磁浮轴下压盘 2d 外环上，光电编码器 2e 固配在基座 1 中心位置内侧下部，且位于光电编码器码盘 2f 外部。上永磁体 2g1 套在磁浮主轴 2a 外环上，并固定在磁浮轴上压盘 2c 下端部，上线圈 2h1 套在磁浮主轴 2a 外环上，并固定在基座 1 内部，距上永磁体 2g1 下方 5-10cm 处；下永磁体 2g2 套在磁浮主轴 2a 外环上，并固定在磁浮轴下压盘 2d 上端部，下线圈 2h2 套在磁浮主轴 2a 外环上，并固定在基座 1 内部，距下永磁体 2g2 上方 5-10cm 处。磁浮轴系 2 带动被测转子以 $6 \sim 10r / \text{min}$ 的速度匀速旋转，下轴向电涡流传感器 8a 在被测转子的轴向安装基准面上进行等间隔采样，下径向电涡流传感器 9a 在被测转子的径向安装基准面上进行等间隔采样，采样点数应满足每圈 1000 ~ 2000 个点，将被测转子的径向安装基准面上的采样数据通过最小二乘圆拟合，评定出偏心量，将被测转子的轴向安装基准面上采样数据通过最小二乘平面拟合，评定出倾斜量；调心调倾工作台

3 配置在磁浮轴系 2 中心位置上,根据偏心量的大小和角度,调节调心调倾工作台 3 直至满足径向基准面偏心量的大小在 $0 \sim 3 \mu\text{m}$ 范围内;根据倾斜量的大小和角度,调节调心调倾工作台 3 直至满足轴向基准面倾斜量的大小在 $0 \sim 2''$ 范围内,左上柱杆连接件 7c 竖直嵌套在门型左立柱 5a 的上侧,左上横向测杆 6c 水平嵌套在左上柱杆连接件 7c 上,上传感器转接件 10b 与左上横向测杆 6d 固连,上轴向电涡流传感器 8b 与上传感器转接件 10b 固连,将上轴向电涡流传感器 8b 测量被测转子的轴向安装测量面,右上柱杆连接件 7d 竖直嵌套在门型右立柱 5b 的上侧,右上横向测杆 6d 水平嵌套在右上柱杆连接件 7d 上,上径向电涡流传感器 9b 与右上横向测杆 6d 固连,上径向电涡流传感器 9b 测量被测转子的径向安装测量面;磁浮轴系 2 以 $6 \sim 10\text{r} / \text{min}$ 的速度匀速旋转,上轴向电涡流传感器 8b 在被测转子的轴向安装测量面上等间隔采样,上径向电涡流传感器 9b 在被测转子的径向安装测量面上等间隔采样;采样点数应满足每圈 $1000 \sim 2000$ 个点;将上径向电涡流传感器 9b 在被测转子的径向安装测量面上采样的数据通过最小二乘圆拟合并评定出同心度;将上轴向电涡流传感器 8b 在被测转子的轴向安装测量面上采样的数据通过最小二乘平面拟合并评定出垂直度,结合轴向安装测量面的半径和该被测转子与最终装配转子的高度差,得到该转子对装配后转子同轴度的影响权值;分别测量装配所需的全部转子,得到各转子对装配后转子同轴度的影响权值;将各转子的权值采用遗传算法进行矢量优化,得到各转子的装配角度,转子同轴度的影响权值的计算方式为: $\text{CoaxWeight} = C\angle\varphi - \frac{H}{R}P\angle\theta$, 式中: C 表示被测转子径向安装测量面的同心度, φ 表示径向安装测量面拟合圆心的偏心角, H 表示被测转子与最终装配转子的高度差, R 表示轴向安装测量面的半径, P 表示被测转子轴向安装测量面的垂直度, θ 表示轴向安装测量面的拟合平面最高点所在的角度。

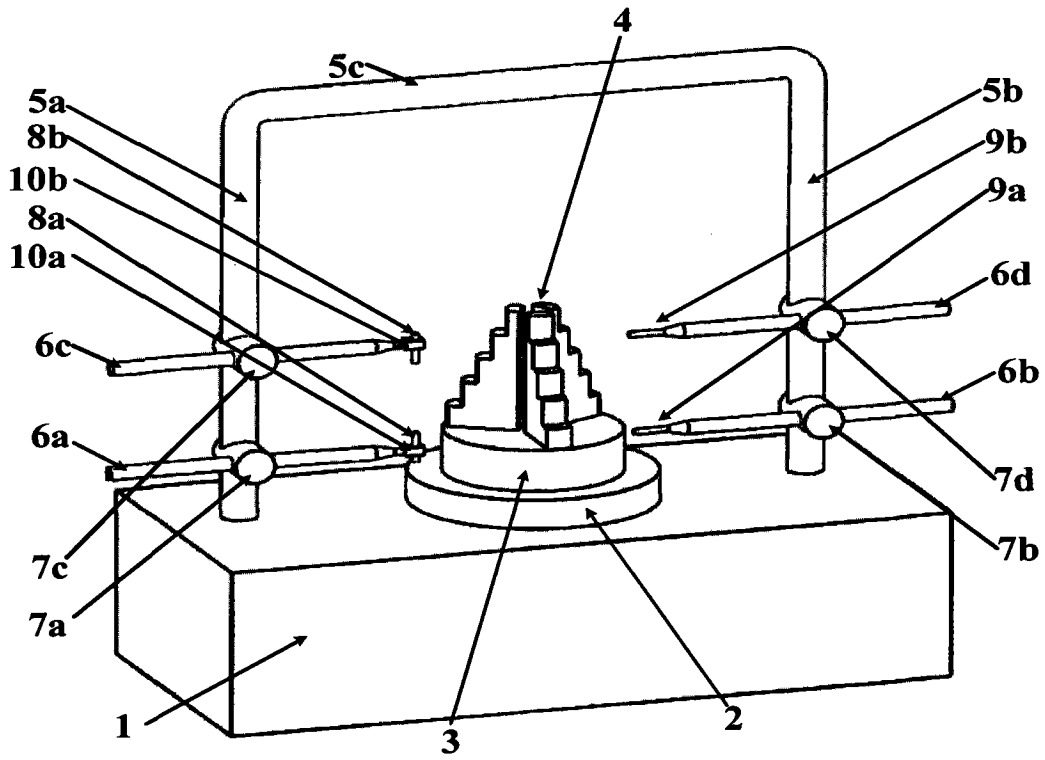


图 1

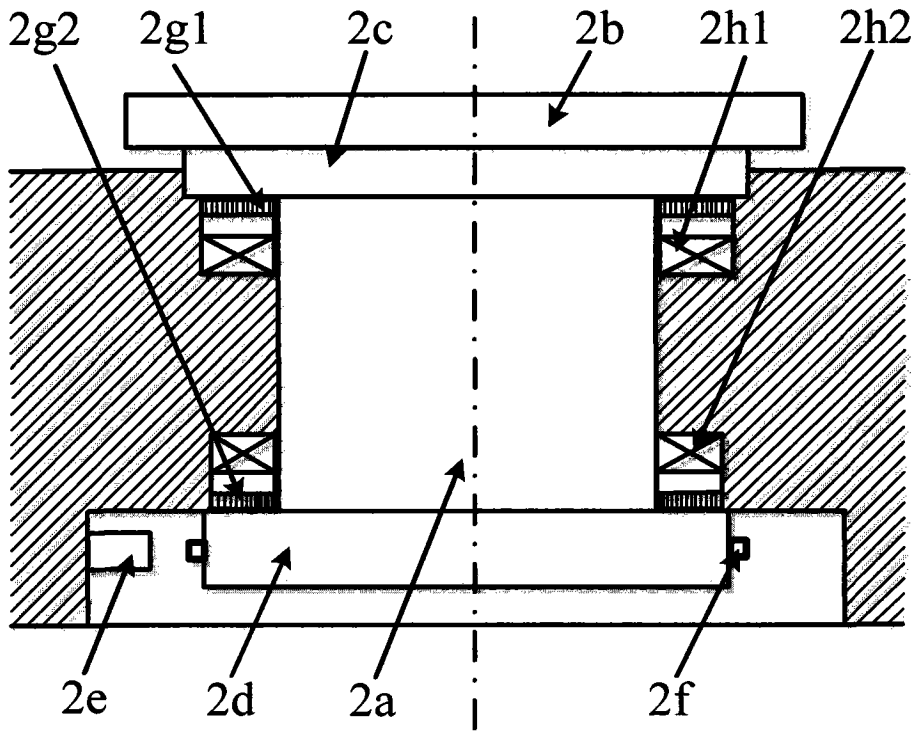


图 2