



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108760224 B

(45)授权公告日 2019.08.30

(21)申请号 201810242935.9

(56)对比文件

(22)申请日 2018.03.23

CN 104165750 A, 2014.11.26,

(65)同一申请的已公布的文献号

CN 104122066 A, 2014.10.29,

申请公布号 CN 108760224 A

CN 106226026 A, 2016.12.14,

(43)申请公布日 2018.11.06

JP 3809525 B2, 2006.08.16,

(73)专利权人 中国科学院力学研究所

CN 103364171 A, 2013.10.23,

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15
号

审查员 张少文

(72)发明人 韩桂来 孟宝清 姜宗林

(74)专利代理机构 北京和信华成知识产权代理
事务所(普通合伙) 11390

代理人 胡剑辉

(51)Int.Cl.

G01M 9/06(2006.01)

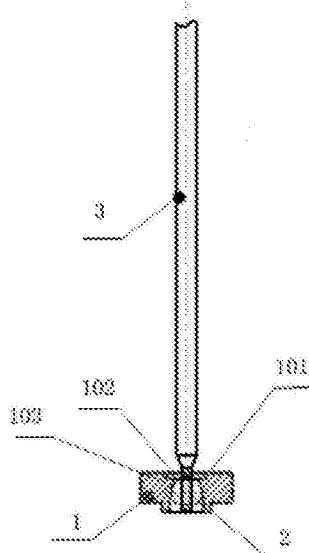
权利要求书2页 说明书4页 附图1页

(54)发明名称

一种空间杆系矢量表征的直接测量和变换
方法

(57)摘要

本发明公开了一种空间杆系矢量表征的直
接测量和变换方法,包括如下步骤:1)建立空
间杆件矢量表征方法;2)在测量仪坐标系C中对空
间杆件矢量特征进行测量;3)在测量仪坐标系C
中对风洞坐标系特征进行测量,以实现采用测量
仪的标准定位点系表征风洞坐标系C'的目的;4)
建立测量仪坐标系C到风洞坐标系C'的直接转
换,得到杆件空间矢量特征。本发明还公开了一
种基于风洞坐标系的空间杆系直接测量装置。本
发明的方法将空间杆系的坐标系、测量仪器的坐
标系统一在风洞坐标系中,解决非一站式测量带
来的精度损失和测量不便捷的问题。该方法主要
针对风洞实验模型空间杆系支撑方法中的相关
测量问题,具有很重要的意义。



1. 一种空间杆系矢量表征的直接测量和变换方法, 其特征在于, 包括如下步骤:

1) 建立空间杆件矢量表征方法: 采用杆件自身定位面P₁直接表征其空间矢量方向; 采用定位块的平面P₂以及内柱面P₃特征定位球铰球心位置特征, 即杆件内力矢量作用点;

2) 在测量仪坐标系C中对空间杆件矢量特征进行测量: 采用体测量方式, 测量杆件自身定位面P₁的特征; 采用面测量方式, 测量定位块的平面P₂以及内柱面P₃的特征;

3) 在测量仪坐标系C中对风洞坐标系特征进行测量: 在测量仪坐标系C中对风洞坐标系C'进行测量, 以实现采用测量仪的标准定位点系表征风洞坐标系C'的目的;

4) 建立测量仪坐标系C到风洞坐标系C'的直接转换: 以风洞坐标系C'为基准, 根据变换矩阵计算测量仪坐标系C内P₁、P₂、P₃在风洞坐标系C'中的位置, 进而获得杆件空间矢量特征。

2. 根据权利要求1所述的直接测量和变换方法, 其特征在于, 所述变换矩阵通过如下过程得到:

杆件自身定位面P₁、定位块的平面P₂以及内柱面P₃均由若干点系表征, 通过变换矩阵建立在测量仪坐标系C中任意一点S在风洞坐标系C'内映射点S'之间关系;

在测量仪坐标系C内测定点S坐标(x, y, z), $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ 为测量仪坐标系C三个方向单位向量, 原点0到S点矢量

$$\vec{OS} = (x, y, z) = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k} \quad (1)$$

点S'为点S在坐标系C'内对应点, $\vec{i}', \vec{j}', \vec{k}'$ 为坐标系C'三个方向单位向量, 原点0'到S'点矢量

$$\vec{OS'} = (x', y', z') = x'\vec{i}' + y'\vec{j}' + z'\vec{k}' \quad (2)$$

式(1)与式(2)表示同一矢量, 有:

$$x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k} = x'\vec{i}' + y'\vec{j}' + z'\vec{k}' \quad (3)$$

测量仪坐标系C与风洞坐标系C'三个方向单位矢量变换矩阵如下:

$$\begin{bmatrix} \vec{i} \\ \vec{j} \\ \vec{k} \end{bmatrix} = [T]_{3 \times 3} \begin{bmatrix} \vec{i}' \\ \vec{j}' \\ \vec{k}' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{i}' \\ \vec{j}' \\ \vec{k}' \end{bmatrix} \quad (4)$$

在两坐标系内测定任意非共面标准定位点S₁, S₂, S₃, 其在测量仪坐标系C以及风洞坐标系C'坐标分别为(x₁, y₁, z₁), (x₂, y₂, z₂), (x₃, y₃, z₃) 及 (x'₁, y'₁, z'₁), (x'₂, y'₂, z'₂), (x'₃, y'₃, z'₃) 坐标系旋转变换矩阵满足:

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x'_1 & y'_1 & z'_1 \\ x'_2 & y'_2 & z'_2 \\ x'_3 & y'_3 & z'_3 \end{bmatrix} \quad (5)$$

可得旋转变换矩阵T:

$$\begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x'_1 & y'_1 & z'_1 \\ x'_2 & y'_2 & z'_2 \\ x'_3 & y'_3 & z'_3 \end{bmatrix} \quad (6)$$

涉及到力作用点，须建立平移变换矩阵Q，坐标系C'原点在坐标系C内坐标为(x₄, y₄, z₄)，平移变换矩阵Q满足：

$$[000] = [x_4 \ y_4 \ z_4] [T] + [q_x \ q_y \ q_z] \quad (7)$$

通过以上旋转变换矩阵T以及平移变换矩阵Q建立了测量仪坐标系C以及风洞坐标系C'间转换关系；空间坐标系C内的任意一点S(x, y, z)转换到坐标系C'内任意一点S'(x', y', z')，可由以式(8)给出：

$$[x' \ y' \ z'] = [x \ y \ z] [T]_{3 \times 3} + [Q]_{1 \times 3} \quad (8)$$

一种空间杆系矢量表征的直接测量和变换方法

技术领域

[0001] 本发明涉及风洞实验技术领域,具体地涉及一种基于风洞坐标系的空间杆系矢量表征的直接测量以及坐标变换方法。

背景技术

[0002] 支撑系统采用二力杆件实现了飞行器在风洞中多点支撑,该空间杆系支撑系统具有支撑力分布简单,刚度约束大,流场干扰小的特点。解决了传统的尾部支撑刚度不足、腹部/背部支撑方式对流场干扰大,以及张线支撑的索系内力复杂等问题;在风洞实验方面具有明显的优势和创新发展的潜力,尤其用于全尺度、大模型气动实验。

[0003] 本发明的方法将空间杆系的坐标系、测量仪器的坐标系统一在风洞坐标系中,解决非一站式测量带来的精度损失和测量不便捷的问题。该方法主要针对风洞实验模型空间杆系支撑方法中的相关测量问题,具有很重要的意义。

发明内容

[0004] 针对现有技术中存在的一种或多种技术问题,本发明的一个目的在于提供一种基于风洞坐标系的空间杆系矢量表征的直接测量以及坐标变换方法。

[0005] 为达到上述目的,本发明采用下述技术方案:

[0006] 一种空间杆系矢量表征的直接测量和变换方法,包括如下步骤:

[0007] 1) 建立空间杆件矢量表征方法:采用杆件自身定位面P₁直接表征其空间矢量方向;采用杆件定位块的平面P₂以及内柱面P₃特征定位球铰球心位置特征,即杆件内力矢量作用点;

[0008] 2) 在测量仪坐标系C中对空间杆件矢量特征进行测量:采用体测量方式,测量杆件自身定位面P₁的特征;采用面测量方式,测量定位块的平面P₂以及内柱面P₃的特征;

[0009] 3) 在测量仪坐标系C中对风洞坐标系特征进行测量:在测量仪坐标系C中对风洞坐标系C'进行测量,以实现采用测量仪的标准定位点系表征风洞坐标系C'的目的;

[0010] 4) 建立测量仪坐标系C到风洞坐标系C'的直接转换:以风洞坐标系C'为基准,根据变换矩阵,计算测量仪坐标系C内P₁、P₂、P₃在风洞坐标系C'中的位置,进而获得杆件空间矢量特征。

[0011] 进一步,所述变换矩阵通过如下过程得到:

[0012] 杆件自身定位面P₁、定位块的平面P₂以及内柱面P₃均由若干点系表征,建立在测量仪坐标系C中任意一点S在风洞坐标系C'内映射点S'之间关系即为变换矩阵;

[0013] 在测量仪坐标系C内测定点S坐标(x,y,z), $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ 为测量仪坐标系C三个方向单位向量,原点0到S点矢量

$$\overrightarrow{OS} = (x, y, z) = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k} \quad (1)$$

[0015] 点S'为点S在坐标系C'内对应点, $\vec{i}', \vec{j}', \vec{k}'$ 为坐标系C'三个方向单位向量,原点0'到

S'点矢量

[0016] $\overrightarrow{OS} = (x', y', z') = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$ (2)

[0017] 式(1)与式(2)表示同一矢量,有:

[0018] $x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k} = x'\vec{i} + y'\vec{j} + z'\vec{k}$ (3)

[0019] 测量仪坐标系C与风洞坐标系C'三个方向单位矢量变换矩阵如下:

[0020]
$$\begin{bmatrix} \vec{i} \\ \vec{j} \\ \vec{k} \end{bmatrix} = [T]_{3 \times 3} \begin{bmatrix} \vec{i}' \\ \vec{j}' \\ \vec{k}' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{i}' \\ \vec{j}' \\ \vec{k}' \end{bmatrix}$$
 (4)

[0021] 在两坐标系内测定任意非共面标准定位点S₁, S₂, S₃, 其在测量仪坐标系C以及风洞坐标系C'坐标分别为(x₁, y₁, z₁), (x₂, y₂, z₂), (x₃, y₃, z₃) 及 (x'₁, y'₁, z'₁), (x'₂, y'₂, z'₂), (x'₃, y'₃, z'₃) 坐标系旋转变换矩阵满足:

[0022]
$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x'_1 & y'_1 & z'_1 \\ x'_2 & y'_2 & z'_2 \\ x'_3 & y'_3 & z'_3 \end{bmatrix}$$
 (5)

[0023] 可得旋转变换矩阵T:

[0024]
$$\begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x'_1 & y'_1 & z'_1 \\ x'_2 & y'_2 & z'_2 \\ x'_3 & y'_3 & z'_3 \end{bmatrix}$$
 (6)

[0025] 涉及到力作用点,须建立平移变换矩阵Q,坐标系C'原点在坐标系C内坐标为(x₄, y₄, z₄), 平移变换矩阵Q满足:

[0026] $[000] = [x_4 y_4 z_4] [T] + [q_x q_y q_z]$ (7)

[0027] 通过以上旋转变换矩阵T以及平移变换矩阵Q建立了测量仪坐标系C以及风洞C'间转换关系。经过以上方法,空间坐标系C内

[0028] 的任意一点S(x, y, z)转换到坐标系C'内任意一点S'(x', y', z'),可由以式(8)给出:

[0029] $[x' y' z'] = [x \ y \ z] [T]_{3 \times 3} + [Q]_{1 \times 3}$ (8)

[0030] 进一步,一种空间杆系矢量特征定位及变换装置,包括杆件、连接飞行器模型和杆件的球铰,以及包覆在球铰外且内嵌于飞行器模型的定位块。定位块包括定位块的平面P₂、内柱面P₃,以及与球铰紧密贴合的内球面P₄;本发明在测量仪坐标系内测量平面P₂以及内柱面P₃确定定位块在测量仪坐标系内位置,进而得到力作用点球铰的球心位置。定位块与杆件外缘柱面共同构成了工件坐标系。

[0031] 若在实际测量中测量仪坐标系为C₁、风洞坐标系为C₂、工件坐标系为C₃,基于以上方法可推知三者之间变换关系:

[0032] $[C_1] = [C_2] [T^{21}] + [Q^{21}]$ (9)

[0033] $[C_1] = [C_3] [T^{31}] + [Q^{31}]$ (10)

[0034] 现有技术中,在进行风洞气动力测试实验时,需要对飞行器的空气动力学特性进

行分析,其需要明确杆件在风洞坐标系内方位,由于风洞坐标系、工件坐标系和测量仪坐标系不同以及非接触式测量方式的限制,因此在测量时需要转站多次进行测量;然而在风洞气动实验中,由于多次转站会导致测量精度严重损失、测量操作极为不便。本发明将工件坐标系和测量仪坐标系转换为风洞坐标系,实现了一站式的测量,保证空间杆系方位的高精度测量。同时变换装置将力作用点测量统一于矢量延长线(或作用线)的测量,节省测量环节,尽可能的增加测量位置间距,提高测量精度。进一步地,测量坐标系可不局限于风洞坐标系,可依据实际需求转换到风洞内任意坐标系。

[0035] 本发明的有益效果如下:

[0036] 本发明的方法将空间杆系坐标系、测量仪坐标系统一在风洞坐标系中,解决非一站式测量带来的操作障碍和误差问题;将力作用点的测量统一于矢量延长线的测量,节省测量环节,提高测量精度;变换方法以及装置保证了测量坐标系可向风洞内任意坐标系转换。该方法主要针对风洞模型的空间杆系支撑方法中的相关测量问题,具有很重要的意义。

附图说明

[0037] 图1为本发明一种空间杆系矢量特征定位及变换装置的结构示意图;

[0038] 图2为本发明风洞实验中工件和测量仪的结构示意图;

[0039] 其中,1、定位块,2、球铰,3、杆件,4、风洞,5、工件,6、测量仪,101、定位块的平面P₂,102、内柱面P₃,103、内球面。

具体实施方式

[0040] 为了更清楚地说明本发明,下面结合优选实施例和附图对本发明做进一步的说明。附图中相似的部件以相同的附图标记进行表示。本领域技术人员应当理解,下面所具体描述的内容是说明性的而非限制性的,不应以此限制本发明的保护范围。

[0041] 实施例1

[0042] 如图1所示,一种空间杆系矢量特征定位及变换装置,包括杆件3、连接飞行器模型和杆件的球铰2,以及包覆在球铰2外且内嵌于飞行器模型的定位块1。定位块1包括定位块的平面P₂101、内柱面P₃102,以及与球铰紧密贴合的内球面P₄103;本发明通过平面P₂101和内柱面P₃102的特征可确定内球面P₄103的空间轴线方向;根据球铰2与内球面P₄的尺寸即可反算得到球铰2球心相对于定位块1空间位置。

[0043] 本发明杆件3与球铰2紧固连接,其截面形状可以为圆形、方形等,只需满足通过测量其外缘面获得杆件3轴线即可。

[0044] 本发明在测量仪坐标系内测量定位块的平面P₂以及内柱面P₃确定定位块1在测量仪坐标内位置,进而得到力作用点球铰2球心位置;通过杆件3外缘面得到杆件3空间矢量方位特征。

[0045] 一种空间杆系矢量表征的直接测量和变换方法,包括如下步骤:

[0046] 1)建立空间杆件矢量表征方法:采用杆件自身定位面P₁直接表征其空间矢量方向;采用定位块的平面P₂以及内柱面P₃特征定位球铰球心位置特征,即杆件内力矢量作用点;

[0047] 2)在测量仪坐标系C中对空间杆件矢量特征进行测量:采用体测量方式,测量杆件

自身定位面P₁的特征；采用面测量方式，测量定位块的平面P₂以及内柱面P₃的特征；

[0048] 3) 在测量仪坐标系C中对风洞坐标系特征进行测量：在测量仪坐标系C中对风洞坐标系C'进行测量，以实现采用测量仪的标准定位点系表征风洞坐标系C'的目的；

[0049] 4) 建立测量仪坐标系C到风洞坐标系C'的直接转换：以风洞坐标系C'为基准，根据旋转变换矩阵T以及平移变换矩阵Q，计算测量仪坐标系C内P₁、P₂、P₃在风洞坐标系C'中的位置，进而获得杆件空间矢量特征。

[0050] 实施例2

[0051] 由实施例1可知，若在实际测量中测量仪坐标系为C₁、风洞坐标系为C₂、工件坐标系为C₃；三者之间变换关系：

$$[0052] [C_1] = [C_2] [T^{21}] + [Q^{21}]$$

[0053] (9)

$$[0054] [C_1] = [C_3] [T^{31}] + [Q^{31}]$$

[0055] 如图2所示，在风洞实验舱内，需要测量在风洞4坐标系C₂下各个工件5（包含杆件、系列定位面等）坐标系C₃。为此，需要将坐标系C₂及C₃统一于测量仪6坐标系C₁。通过测量风洞喷管出口平面上至少三点得到出口圆截面，通过若干圆截面平移与喷管型线相交得到一系列的圆系，圆系圆心的拟合轴线即为风洞坐标系C₂的X轴，水平方向设定为Y轴，Z轴由X轴与Y轴矢量叉乘得到，坐标原点选为喷管出口圆的圆心O'₂。

[0056] 通过测量工件的杆件面、标准定位面确定工件坐标系C₃，杆件轴线作为坐标系C₃的X轴线，标准定位面作为辅助测量得到Y轴，Z轴由X轴与Y轴矢量叉乘得到，将球铰球心作为坐标系原点。坐标系C₃的X轴测量也可以利用力作用线测量方式得到，将球铰球心与杆件自由端轴线点连线作为X轴。

[0057] 通过以上测量，将风洞坐标系C₂、工件坐标系C₃统一于仪器坐标系C₁，在仪器坐标系内可以完成对风洞坐标系下任意工件以及飞行器模型的方位测量，从而达到一站式测量的目的。

[0058] 显然，本发明的上述实施例仅仅是为清楚地说明本发明所作的举例，而并非是对本发明的实施方式的限定，对于所属领域的普通技术人员来说，在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式的变化或变动，这里无法对所有的实施方式予以穷举，凡是属于本发明的技术方案所引伸出的显而易见的变化或变动仍处于本发明的保护范围之列。

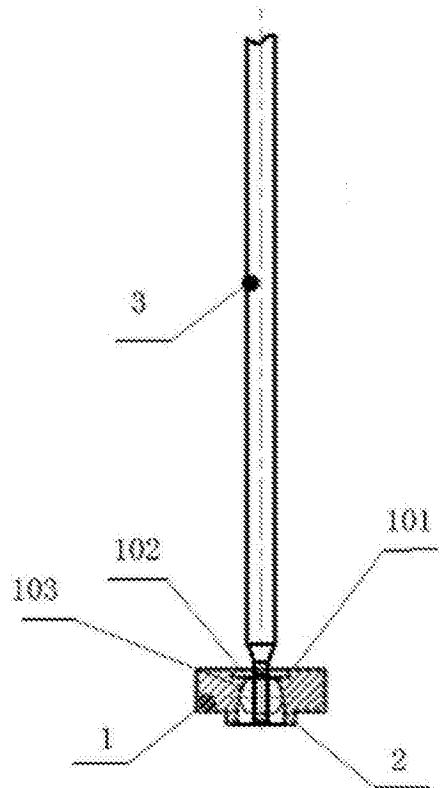


图1

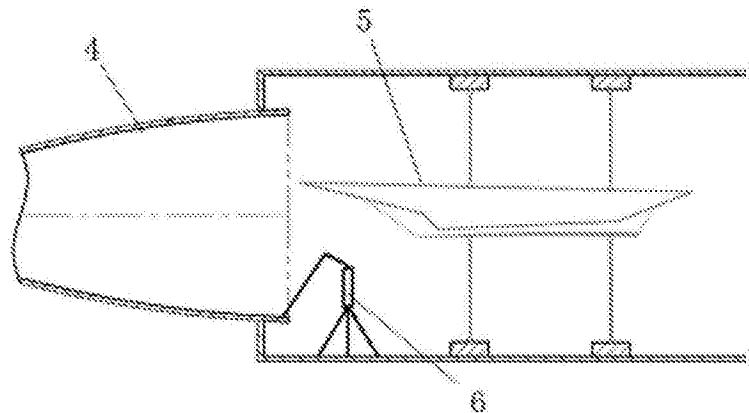


图2