



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114757993 B

(45) 授权公告日 2022. 09. 09

(21) 申请号 202210658880.6

G06T 7/20 (2017.01)

(22) 申请日 2022.06.13

G06F 30/20 (2020.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

G01M 9/06 (2006.01)

申请公布号 CN 114757993 A

G06F 119/14 (2020.01)

(43) 申请公布日 2022.07.15

(56) 对比文件

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所

US 2003030820 A1, 2003.02.13

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

审查员 高民芳

(72) 发明人 汪运鹏 王粤 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

专利代理师 胡剑辉

(51) Int. Cl.

G06T 7/70 (2017.01)

G06T 7/66 (2017.01)

权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

一种纹影图像的运动、参数识别方法及系统

(57) 摘要

本发明提供了一种纹影图像的运动、参数识别方法及系统,在运动模型的壁面固定设有多个标记光源,每个标记光源的灯心安装方向与纹影光源的光路平行,且面向纹影相机用于标记运动模型的运动轨迹;风洞试验后,获得包含有运动模型和标记光源的原始纹影图像,基于标记光源在运动模型上相对于运动模型的空间位置坐标及运动模型的质心坐标分析原始纹影图像,获得风洞实验中运动模型的分离运动轨迹以及动力学参数。本发明在运动模型上安装标记光源,通过简单的坐标对应关系以及几何关系处理获得试验中运动模型的位移、俯仰角变化,解决了现有技术中测量难度大、多相机位受场地限制、标定复杂的问题。



1. 一种纹影图像的运动、参数识别方法,其特征在于,包括如下方法步骤:

步骤1、在运动模型的壁面固定设有多个标记光源,每个所述标记光源的灯心安装方向与纹影光源的光路平行,且面向纹影相机用于标记运动模型的运动轨迹;

步骤2、风洞试验后,获得包含有运动模型和标记光源的原始纹影图像,识别所述原始纹影图像中的标记光源的位置像素点,获得每张所述原始纹影图像中每个所述标记光源的像素坐标;

步骤3、利用步骤2处理后的纹影图像中某一时刻 t_j 、上一时刻 t_{j-1} 的每个所述标记光源的所述像素坐标和运动模型的质心坐标计算运动模型的俯仰角姿态变化,获得某一时刻相对于所述原始纹影图像的起始时刻的运动模型的姿态角的变化量;

步骤4、以步骤2处理后的纹影图片中的某一固定点作为原点,建立参考坐标系,将每个所述标记光源的所述像素坐标转化为物理空间坐标变化,结合步骤3的结果,获得风洞实验中运动模型的分离运动轨迹以及动力学参数。

2. 根据权利要求1所述的一种纹影图像的运动、参数识别方法,其特征在于,

步骤1中,每个所述标记光源的中轴线与所述纹影光源的光路平行实现每个所述标记光源的灯心安装方向与纹影光源的光路平行,且每个所述标记光源背向纹影光源安装在所述运动模型的壁面上用于标记运动模型的运动轨迹以及姿态。

3. 根据权利要求1所述的一种纹影图像的运动、参数识别方法,其特征在于,

步骤2中所述获得每张纹影图像中每个标记光源的像素坐标的具体内容为:

获得包含有运动模型和标记光源的原始纹影图像,对所有所述原始纹影图像进行批量灰度处理得到灰度图片,以判定出标记光源的位置像素点与背景像素点;继续将所述灰度图片转化为黑白二值图片,以得到每个标记光源的灯心的像素点坐标;获得每张纹影图片中每个标记光源的像素坐标。

4. 根据权利要求1所述的一种纹影图像的运动、参数识别方法,其特征在于,

步骤4中所述参考坐标系中,以风洞试验中试验气流的来流方向建立参考坐标系的横轴,垂直来流方向向上为参考坐标系的纵轴,得到每个所述标记光源在所述运动模型的运动过程中在所述参考坐标系中的坐标和所述运动模型的质心在参考坐标系中的坐标。

5. 根据权利要求4所述的一种纹影图像的运动、参数识别方法,其特征在于,

在所述参考坐标系中,结合所述运动模型在某一时刻 t_j 相对于上一时刻的 t_{j-1} 的位移,得到所述运动模型的运动速度、加速度、受力和俯仰力矩。

6. 根据权利要求1所述的一种纹影图像的运动、参数识别方法,其特征在于,

步骤4中的所述动力学参数的精度随着标记光源的数量增多而增高。

7. 根据权利要求1所述的一种纹影图像的运动、参数识别方法,其特征在于,

步骤1中,所述标记光源的数量大于等于3个。

8. 一种基于权利要求1-7任一项所述的一种纹影图像的运动、参数识别方法的系统,其特征在于,包括:用于风洞试验的运动模型、纹影光源和纹影相机,在运动模型的壁面上固定设有3个或以上光线方向背对纹影光源且面向纹影相机镜头的标记光源,每个所述标记光源的中轴线与纹影光源的光路平行用于标记运动模型的运动轨迹,在运动模型的空腔内部固定有连接标记光源的供电电路;

风洞试验后,获得包含有运动模型和标记光源的原始纹影图像,基于标记光源在运动模型上相对于运动模型的空间位置坐标及运动模型的质心坐标分析所述原始纹影图像。

9.根据权利要求8所述的系统,其特征在于,每个所述标记光源固定在运动模型壁面的一个贯穿孔内。

10.根据权利要求8-9任一项所述的系统,其特征在于,所述标记光源是LED灯、小电珠或小灯泡中的一种。

一种纹影图像的运动、参数识别方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及风洞特种试验领域,具体涉及一种纹影图像的运动、参数识别方法及系统,特别适用于超声速/高超声速风洞多体分离、自由飞试验时,能够获得模型分离轨迹和运动参数的识别方法。

背景技术

[0002] 在航空航天基础研究领域,高超声速风洞动态试验技术为研究高超声速飞行器动态飞行特性、多体分离动态特性做出了很大的贡献。目前在超声速/高超风洞中进行的多体分离试验一般采用CTS轨迹模拟系统进行试验,为一种准静态的分离模拟试验,非真实飞行条件下的动态分离模拟试验。模型自由飞和动态分离试验虽然有CTS系统支撑,但是无法直接获得模型的运动参数以及受力状态等数据信息。而这些试验数据对分析飞行器的动态(分离)气动特性以及流场分析非常重要。

[0003] 在风洞动态试验中,一般用于获得飞行器运动参数信息的方式有两种:一是摄影测量法,二是在模型内部安装运动加速度传感器和信号采集器。对于摄像测量法,需要采用多相机或者单相机拍摄,在不同的角度对同一目标点进行多次拍摄。标定好双相机之间几何关系或者单相机不同机位之间的几何关系,可以通过对目标物立体像对的分析获得目标的空间坐标。该方法在应用与超声速/高超声速风洞试验中,测量难度大、设备成本高、标定复杂且测量效率低。一方面需要精心设计多相机位,但是这往往受到风洞试验舱观察窗口以及场地的限制,另一方面需要在风洞试验中给运动模型进行打光,反射足够多的光用于相机镜头捕捉。最后还需要进行复杂的坐标转换以及图像处理方法才能得到目标点的三维空间坐标和随时间的运动轨迹。这种方法的测量精度与相机方位、相机台数以及处理方法密切相关。所以综合来说,这种方法对于风洞动态试验的模型运动参数计算和捕捉来说难度较大,成本过高,实施操作复杂。最后对于在运动模型中安装加速度传感器及其信号采集存储系统的方法来说,由于一般用于风洞动态分离或者自由飞试验的试验模型尺寸较小,无法全部放置其中测量所需的惯性加速度传感器以及信号采集存储系统,而且尽管模型做的足够大用于安装测量设备,但是会增加试验模型重量,影响或者偏离预期动态试验效果,会对试验产生重要影响。另一方面,这会增加试验成本。

[0004] 以上这些情况限制下,就需要一种普适性强,实施简单方便、成本低、数据处理简便高效而且对风洞动态试验结果影响小的模型多体分离或自由飞轨迹和运动参数识别方法。针对以上问题,提出一种基于风洞试验纹影图像的多体分离、自由飞轨迹和运动参数识别方法。

发明内容

[0005] 为了解决以上方案中的缺陷和不足,本发明提出了一种纹影图像的运动、参数识别方法及系统,该识别方法是针对在超声速/高超声速风洞中开展多体动态分离或者自由飞试验时,通过对纹影图像进行后期处理获得运动模型的运动参数和受力状态等信息,具

有成本低、操作简单高效、对实验影响小等特点,解决了现有技术中测量难度大、多相机位受场地限制、标定复杂的问题。

[0006] 在本发明的第一个方面,提供一种纹影图像的运动、参数识别方法,包括如下方法步骤:

[0007] 步骤1、在运动模型的壁面固定设有多个标记光源,每个所述标记光源的灯心安装方向与纹影光源的光路平行,且面向纹影相机用于标记运动模型的运动轨迹;

[0008] 步骤2、风洞试验后,获得包含有运动模型和标记光源的原始纹影图像,识别所述原始纹影图像中的标记光源的位置像素点,获得每张所述原始纹影图像中每个所述标记光源的像素坐标;

[0009] 步骤3、利用步骤2处理后的纹影图像中某一时刻 t_j 、上一时刻 t_{j-1} 的每个所述标记光源的所述像素坐标和运动模型的质心坐标计算运动模型的俯仰角姿态变化,获得某一时刻相对于所述原始纹影图像的起始时刻的运动模型的姿态角的变化量;

[0010] 步骤4、以步骤2处理后的纹影图片中的某一固定点作为原点,建立参考坐标系,将每个所述标记光源的所述像素坐标转化为物理空间坐标变化,结合步骤3的结果,获得风洞实验中运动模型的分离运动轨迹以及动力学参数。

[0011] 在一个可能的实施方式中,步骤1中,每个所述标记光源的中轴线与所述纹影光源的光路平行实现每个所述标记光源的灯心安装方向与纹影光源的光路平行,且每个所述标记光源背向纹影光源安装在所述运动模型的壁面上用于标记运动模型的运动轨迹以及姿态。

[0012] 在一个可能的实施方式中,步骤2中所述获得每张纹影图像中每个标记光源的像素坐标的具体内容为:

[0013] 获得包含有运动模型和标记光源的原始纹影图像,对所有所述原始纹影图像进行批量灰度处理得到灰度图片,以判定出标记光源的位置像素点与背景像素点;继续将所述灰度图片转化为黑白二值图片,以得到每个标记光源的灯心的像素点坐标;获得每张纹影图片中每个标记光源的像素坐标。

[0014] 在一个可能的实施方式中,步骤4中所述参考坐标系中,以风洞试验中试验气流的来流方向建立参考坐标系的横轴,垂直来流方向向上为参考坐标系的纵轴,得到每个所述标记光源在所述运动模型的运动过程中在所述参考坐标系中的坐标和所述运动模型的质心在参考坐标系中的坐标。

[0015] 在一个可能的实施方式中,在所述参考坐标系中,结合所述运动模型在某一时刻 t_j 相对于上一时刻的 t_{j-1} 的位移,得到所述运动模型的运动速度、加速度、受力和俯仰力矩。

[0016] 在一个可能的实施方式中,步骤4中的所述动力学参数的精度随着标记光源的数量增多而增高。

[0017] 在一个可能的实施方式中,步骤1中,所述标记光源的数量大于等于3个。

[0018] 在本发明的第二个方面,提供一种应用了上述方法的纹影图像的运动、参数识别系统,包括:用于风洞试验的运动模型、纹影光源和纹影相机,在运动模型的壁面上固定设有3个及以上光线方向背对纹影光源且面向纹影相机镜头的标记光源,每个所述标记光源的中轴线与纹影光源的光路平行用于标记运动模型的运动轨迹,在运动模型的空腔内部固定有连接标记光源的供电电路;

[0019] 风洞试验后,获得包含有运动模型和标记光源的原始纹影图像,基于标记光源在运动模型上相对于运动模型的空间位置坐标及运动模型的质心坐标分析所述原始纹影图像。

[0020] 在一个可能的实施方式中,每个所述标记光源固定在运动模型壁面的一个贯穿孔内。

[0021] 在一个可能的实施方式中,所述标记光源是LED灯、小电珠或小灯泡中的一种。

[0022] 本发明和现有技术相比具有如下有益效果:本发明提供了一种纹影图像的运动、参数识别方法及系统,该方法系统在运动模型上安装了标记光源,通过简单的坐标对应关系以及几何关系处理获得试验中运动模型的位移、俯仰角变化,进而获得加速度以及受力状态,该方法操作简单,方便快捷、精度可靠,而且成本很低,对风洞试验效果几乎没有影响。

附图说明

[0023] 为了更清楚地说明本发明的实施方式或现有技术中的技术方案,下面将对实施方式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍。显而易见地,下面描述中的附图仅仅是示例性的,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据提供的附图引申获得其它的实施附图。

[0024] 图1为本发明实施例中风洞试验纹影图像的运动、参数识别方法的流程示意图;

[0025] 图2为本发明中风洞试验纹影图像的运动、参数识别系统的结构示意图;

[0026] 图中:1-标记光源,2-运动模型,3-纹影光源,4-纹影相机,5-观察窗。

具体实施方式

[0027] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0028] 一种纹影图像的运动、参数识别方法,包括如下方法步骤:

[0029] 步骤1、在运动模型的壁面固定设有多个标记光源,每个所述标记光源的灯心安装方向与纹影光源的光路平行,且面向纹影相机用于标记运动模型的运动轨迹。

[0030] 在一个具体实施例中,标记光源数量一般大于等于3个,通过每个标记光源的中轴线与纹影光源的光路平行可以实现标记光源的灯心安装方向与纹影光源的光路平行的安装要求。标记光源的中轴线与纹影光路平行时,使得标记光源中间的最大光强亮度正朝向纹影相机拍摄,使得纹影相机捕捉到最大亮度的标记光源发光强度,方便后续轨迹识别处理。

[0031] 此外,由图2可知,每个标记光源面向纹影相机即背向纹影光源,每个标记光源必须背向纹影光源安装在所述运动模型的壁面上,是为了在运动模型背向纹影光源的一面形成亮光标记点,可以标记运动模型在风洞试验中的运动轨迹。

[0032] 在纹影拍摄系统中,由于运动模型会挡住纹影光源发出的光,所以模型在拍摄的纹影照片中是黑色的,而在运动模型背着纹影光源的一侧壁面上安装标记光源(优选白光

LED灯),一方面可以清晰的标记出模型的运动轨迹以及姿态,一方面LED灯发出的白光与模型的黑色环境形成强烈对比,方便后续图像轨迹识别的处理。

[0033] 本实施例中,标记光源优选为白光LED灯,以LED灯为实施例的流程图如图1所示,标记光源的数量视具体情况而定,数量越多,后处理运动的参数精度越高。

[0034] 试验前,需要确定标记光源在运动模型上相对于运动模型的空间位置坐标 (x_i, y_i) ,以及运动模型的质心坐标 (x_c, y_c) 。在试验前需要确定纹影观察窗口的尺寸,比如观察窗的直径D或者长和宽。确保以上工作齐全后,开始风洞试验,获得包含运动模型和标记光源的纹影图像,纹影相机拍摄帧率为f。

[0035] 步骤2、风洞试验后,获得包含有运动模型和标记光源的原始纹影图像,识别所述原始纹影图像中的标记光源的位置像素点,获得每张所述原始纹影图像中每个所述标记光源的像素坐标。

[0036] 获得纹影图像的原始图片后,需要对试验过程中运动模型上安装的若干标记光源进行图像识别,由于标记光源发白光并且亮度明显区别于背景环境,所以该过程比较简单。首先对原始纹影图像进行批量处理,将原始彩色图片转变为灰度图片,然后对比得出图片中标记光源的像素点的灰度值,设定某一灰度阈值,能够判定出标记光源的位置像素点与背景像素点。根据设定的灰度阈值,将灰度图片转化为二值图片(即黑和白),黑色用来标记背景像素、白色用来标记运动模型上安装的标记光源位置。这样就能够很容易的得到各个标记光源白色像素点的坐标,然后对每个标记光源的像素点坐标做平均化处理,获得标记光源灯心(贯穿孔圆心)的像素点坐标,以此类推,获得每张纹影图片中每个标记光源的像素坐标。

[0037] 步骤3、利用步骤2处理后的纹影图像中某一时刻 t_j 、上一时刻 t_{j-1} 的每个所述标记光源的所述像素坐标和运动模型的质心坐标计算运动模型的俯仰角姿态变化,获得某一时刻相对于所述原始纹影图像的起始时刻的运动模型姿态角的变化量。

[0038] 在获得模型运动过程中的每张图片中每个标记光源的像素坐标 (x_i', y_i') 之后,需要将标记光源的像素坐标转化为物理空间坐标变化(即位移和俯仰角变化)。由于试验的运动模型一般为面对称模型,在试验模拟中,运动模型一般只在俯仰方向存在明显的姿态角变化,在侧滑以及滚转方向上无明显位移或者姿态变化,所以通过纹影图像进行后处理获得轴向和法向位移以及俯仰角变化是足够的。

[0039] 根据纹影相机的拍摄图片,获得纹影观察窗在纹影相机拍摄下的像素坐标范围,比如纹影观察窗直径D对应的像素坐标长度为D',那么一个像素点的边长代表真实空间长度为D/D'。所以根据纹影图像中某一时刻 t_i 和上一时刻的 t_{i-1} 的每一个标记光源的像素坐标。以下为运动模型的位移、俯仰角、加速度以及受力状态计算过程及表达式。

[0040] 定义两向量之间所成的夹角计算函数为

[0041] $function [angle] = getangle(x1, y1, x2, y2)$

[0042] $vector A = [x1, y1], vector B = [x2, y2]$

[0043] $angle = \arccos\left(\frac{dot(A, B)}{|A| \cdot |B|}\right)$. if $angle > 90^\circ$, $angle = 180^\circ - angle$

[0044] 上述函数中,A、B为向量,x1、y1为向量A的分量,x2、y2为向量B的分量。该计算函数

的定义为：

[0045] 定义计算函数 $f = \text{getangle}(x1, y1, x2, y2)$ ，函数名为 getangle ，输入的自变量为向量A的分量 $x1, y1$ 和向量B的分量 $x2, y2$ 。经过文中的计算公式可以获得计算输出两向量A、B之间的夹角 $\text{angle}.\text{dot}(A, B)$ 函数为求两向量的点积。

[0046] 每个标记光源与运动模型的质心之间形成的直线与水平线所成夹角为

$$[0047] \quad \theta_i = \text{getAngle}(x_i - x_c, y_i - y_c, 1, 0)$$

[0048] 每个标记光源与运动模型的质心所成线段长度为

$$[0049] \quad l_i = \text{sqrt}((x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2)$$

[0050] 利用纹影图像中某一时刻 t_j 和上一时刻的 t_{j-1} 的每一个补光像素坐标计算运动模型的俯仰角姿态变化：采用最小二乘法确定时刻 t_j 和上一时刻的 t_{j-1} 的补光等拟合出的直线斜率 k_j 和 k_{j-1} ，然后通过斜率确定当前时刻 t_j 与上一时刻 t_{j-1} 的姿态角相对变化值：

$$[0051] \quad d\theta_j = \text{atand}(-k_j) - \text{atand}(-k_{j-1})$$

[0052] 以此类推，获得每一时刻与前一时刻的相对姿态角变化量。然后对这些姿态角变化量进行累加取和，获得某一时刻相对于原始纹影图像的起始时刻的运动模型的姿态角的变化量为：

$$[0053] \quad \theta_j = \sum_{j=1}^j d\theta_j (j = 1, 2, \dots)$$

[0054] 步骤4、以步骤2处理后的纹影图片中的某一固定点作为原点，建立参考坐标系，将每个所述标记光源的所述像素坐标转化为物理空间坐标变化，结合步骤3的结果，获得风洞实验中运动模型的分离运动轨迹以及动力学参数。

[0055] 取纹影图像中的某一固定点作为参考坐标系的原点，该原点在纹影图像中的像素坐标为 (x_0, y_0) 。以风洞试验中气流的来流方向建立坐标系的横轴，垂直来流方向向上为坐标的纵轴，则每个标记光源在模型运动过程中在建立的参考坐标系的坐标为：

$$[0056] \quad X_i = (x_0 - x_i) \cdot \frac{D}{D'} \quad , \quad Y_i = (y_0 - y_i) \cdot \frac{D}{D'}$$

[0057] 则运动模型的质心在参考坐标系中的坐标为：

$$[0058] \quad X_{ci} = X_i \pm l_i \cdot \text{cosd}(\theta_i \pm \theta_j)$$

[0059] (当质心位于该LED灯之前时，式中“ \pm ”取负号，反之取正号)

$$[0060] \quad Y_{ci} = Y_i \pm l_i \cdot \text{sind}(\theta_i \pm \theta_j)$$

[0061] (当质心位于该LED灯之下时，式中“ \pm ”取负号，反之取正号)

[0062] 则运动模型的质心在时刻 t_j 的坐标为：

$$[0063] \quad X_{cj} = \sum_{i=1}^n X_{ci} / n \quad Y_{cj} = \sum_{i=1}^n Y_{ci} / n$$

[0064] 式中， n 为LED灯个数。

[0065] 则模型在某一时刻 t_j 相对于上一时刻的 t_{j-1} 的位移为：

$$[0066] \quad dx_j = X_{cj} - X_{c,j-1} \quad dy_j = Y_{cj} - Y_{c,j-1}$$

[0067] 模型运动速度为:

$$[0068] \quad u_j = dx_j/dt = dx_j \cdot f, \quad v_j = dy_j/dt = dy_j \cdot f$$

[0069] 加速度为:

$$[0070] \quad ax_j = du_j/dt = du_j \cdot f, \quad ay_j = dv_j/dt = dv_j \cdot f$$

[0071] 受力为:

$$[0072] \quad Fx_j = ax_j \cdot m, \quad Fy_j = ay_j \cdot m$$

[0073] 俯仰力矩为:

$$[0074] \quad Mz_j = d\theta_j \cdot f \cdot l_{zz}$$

[0075] 其中m为模型质量, I_{zz} 为绕运动模型体轴系的Z轴的惯性矩。

[0076] 经过以上步骤便可以基于原始纹影图像计算得到运动模型的分离轨迹以及运动参数,并且在JF12激波风洞两级入轨飞行器纵向级间分离轨道级模型运动参数识别中获得了成功的应用,成本低,方便快捷,且具有良好的识别精度。

[0077] 如图2所示,本发明还提供一种应用了上述纹影图像的运动、参数识别方法的系统,包括:用于风洞试验的运动模型2、纹影光源3和纹影相机4,在运动模型2的壁面上固定设有3个及以上光线方向背对纹影光源3且面向纹影相机4镜头的标记光源1,每个所述标记光源1的中轴线与纹影光源3的光路平行用于标记运动模型2的运动轨迹,在运动模型2的空腔内部固定有连接标记光源1的供电电路;风洞试验后,获得包含有运动模型2和标记光源1的原始纹影图像,基于标记光源1在运动模型2上相对于运动模型2的空间位置坐标及运动模型2的质心坐标分析所述原始纹影图像,获得风洞实验中运动模型的分离运动轨迹以及动力学参数。

[0078] 在一个具体的实施例中,在运动模型2的壁面一侧上打上直径为3~5 mm的若干贯穿孔,贯穿孔的中轴线与纹影光源3的光路平行,每个贯穿孔内安装固定有一个标记光源1,保证了标记光源1的中轴线与纹影光源3的光路平行。

[0079] 标记光源可以选择体积小、质量小、电路简单、安装方便的光源,可以是LED灯、小电珠、小灯泡中的一种,一般情况下LED灯是最理想的选择。在不明显影响试验效果的情况下,也可以在运动模型2的壁面上安装其他发光体。

[0080] 本实施例中,标记光源选择LED灯,试验前,准备好足够数量的白光LED灯(发光二极管),并且准备好串联电阻、电源(可以选择纽扣电池)、LED灯以及导线组成的串联电路。在关闭试验舱前,沿运动模型壁面的贯穿孔安装白光LED发光二极管,LED安装尽量保证灯的中轴线与孔的中轴线重合,然后用胶水粘合固定,电源电压需要保证LED发光亮度在试验高帧率的纹影相机拍摄下能够明显辨析(因为高速相机拍摄帧数越高,图片亮度越暗),即保证LED灯的足够发光亮度(可以选择串联多块纽扣电池)。然后在试验模型空腔内用胶带或者其他方式固定好LED等供电电路,防止试验时由于模型运动导致电路断开或者接触不良影响LED正常工作。

[0081] 风洞试验后,获得包含有运动模型和标记光源的原始纹影图像,基于标记光源在运动模型上相对于运动模型的空间位置坐标及运动模型的质心坐标分析所述原始纹影图像,基于上述分析方法,可以获得风洞实验中运动模型的分离运动轨迹以及动力学参数。

[0082] 本发明提供的识别方法及系统,通过在运动模型上安装标记光源,经过简单的坐标对应关系以及几何关系处理即可获得试验中运动模型的位移、俯仰角变化,进而获得加

速度以及受力状态,该方法操作简单,方便快捷、精度可靠,而且成本很低,选择质量小的LED灯等标记光源,对风洞试验效果几乎没有影响。

[0083] 以上实施例仅为本申请的示例性实施例,不用于限制本申请,本申请的保护范围由权利要求书限定。本领域技术人员可以在本申请的实质和保护范围内,对本申请做出各种修改或等同替换,这种修改或等同替换也应视为落在本申请的保护范围内。

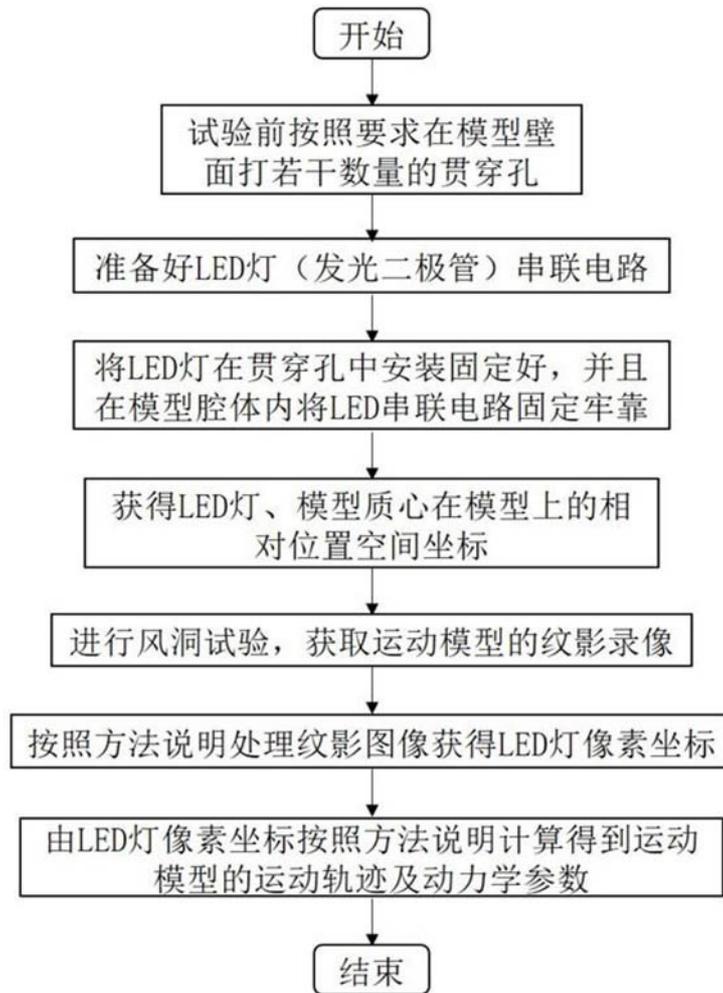


图1

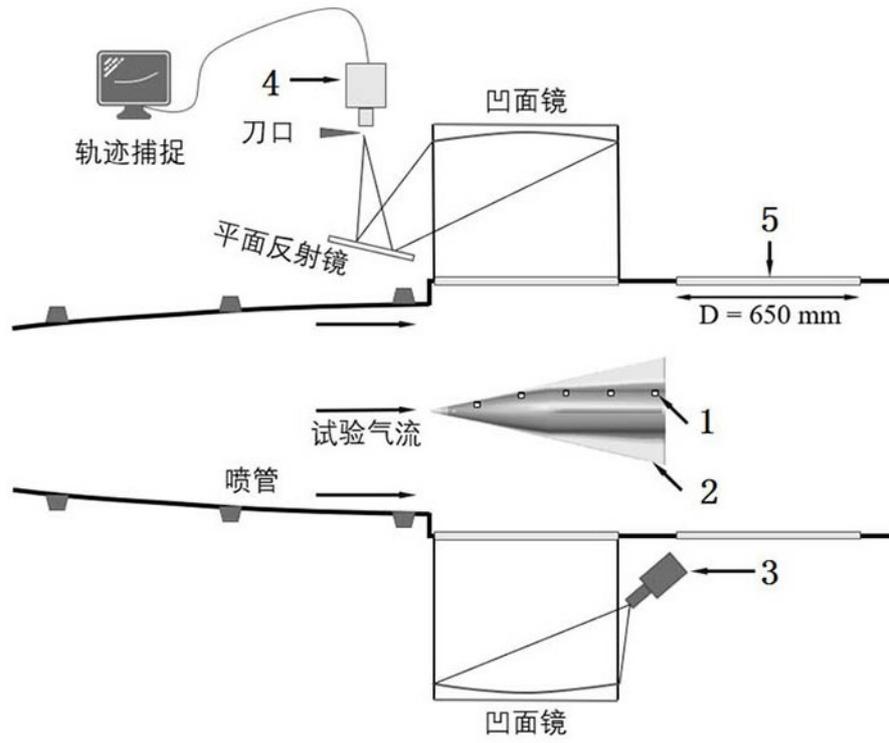


图2