

风洞应变天平校准系统加载头快速定位技术*

于卫青¹,袁先士¹,李通¹,陈志坚²,高超¹

(1 中国兵器工业第203研究所,西安 710065;2 解放军边防学院,西安 710108)

摘要:阐述了基于测微准直的CG-01风洞应变天平体轴系校准系统加载头定位原理,介绍了体轴系校准系统加载头快速定位设计方案、精度指标、加载头调试步骤。提出了实现精确空间定位的初始定位方法与快速定位方法,并对两种方法进行了分析比较。应用快速定位方法完成了多台天平的校准,取得了良好的效果。

关键词:空间坐标;测微准直;加载头定位

中图分类号:V211.74 文献标志码:A

Fast Positioning Technology of Loading Device of Wind Tunnel Strain-gauge Balance Calibration System

YU Weiqing¹, YUAN Xianshi¹, LI Tong¹, CHEN Zhijian², GAO Chao¹

(1 No. 203 Research Institute of China Ordnance Industries, Xi'an 710065, China;

2 Frontier Defence Academy of PLA, Xi'an 710108, China)

Abstract: The principle of strain balance body shafting calibration system loads based on the CG-01 wind tunnel collimator micrometer head positioning was described, the shafting calibration system loading head fast positioning design, precision indicators debugging steps were introduced. The methods for initial positioning and fast positioning method for precise space positioning were proposed and the two were analyzed and compared. The fast positioning method has been used for calibration of balances, and good results were achieved.

Keywords: space coordinate; micro-alignment; loading device positioning

0 引言

尽管CFD技术有了很大发展,风洞实验目前仍然是现代飞行器气动力研究最主要最基本的实验手段,风洞测力实验是风洞实验最基本的实验项目。风洞应变天平是风洞测力实验必不可少的最重要最关键的核心测试设备之一,它的性能直接影响风洞测力实验数据的可靠性和精度。天平校准公式的准确程度直接影响了天平的性能,而天平校准前加载头安装定位则是天平校准的关键环节,快速定位方法则提高了天平校准系统的定位精度、定位效率、成功率和校准精度。

1 测量原理及系统组成

1.1 校正原理

天平校准加载头初始坐标系的确定是通过一个定位平台建立起来的,定位平台的水平度为3"。定位平台上设有参考坐标系OXYZ(十字线),加载头坐标

系O'X'Y'Z'则位于定位平台的上方,沿铅垂方向上移一定的位置。

这种方法建立起来的加载坐标系是通过一个中间参考坐标系来完成的,参考坐标系的任何微小改变都将影响加载头坐标系的复现精度。

CG-01风洞天平校准系统基于准直原理,采用直接复现加载头坐标系的方法。该方法采用一个高精度的立方镜安装在加载头上,如图1所示。立方镜本身是一个直角坐标系,立方镜坐标系O'X'Y'Z'与加载头保持着固定的位置关系,其安装精度由制造装配精度来保证。

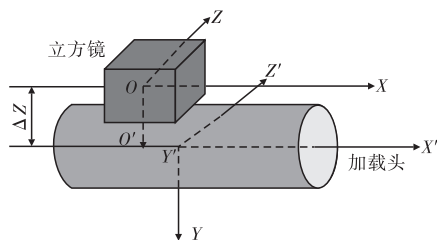


图1 安装立方镜的加载头

* 收稿日期:2012-03-23

作者简介:于卫青(1978-),男,陕西澄城人,工程师,硕士研究生,研究方向:风洞实验技术。

若加载头坐标系为 $OX_0Y_0Z_0$, 立方镜坐标系为 $O'X'Y'Z'$, 则二者关系为:

$$O'X'Y'Z' = OX_0Y_0Z_0 + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}$$

设定 A、B 两个测微准直仪位于同一水平面且互相垂直的两个位置上, 如图 2 所示。建立的瞄准坐标系 $OXYZ$ 与加载坐标系 $OX_0Y_0Z_0$ 的关系为:

$$OXYZ = OX_0Y_0Z_0 + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}$$

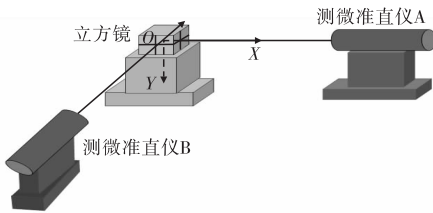


图2 利用准直方法复现加载坐标系

由于加载头上立方镜的坐标系 $O'X'Y'Z'$ 与加载头坐标系 $OX_0Y_0Z_0$ 的关系为:

$$O'X'Y'Z' = OX_0Y_0Z_0 + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}$$

只要调整瞄准坐标系 $OXYZ$ 与立方镜坐标系 $O'X'Y'Z'$ 重合就可以将加载头安放到加载头坐标系上。

1.2 系统组成

本系统通过两套测微准直望远镜建立瞄准坐标系, 利用测微准直望远镜、精密立方镜、激光投点器, 测微准直望远镜如图 3 所示, 通过测微准直望远镜复现加载头十字准直影像, 实现加载头初始状态的精确定位。其中将立方镜安装在加载头的设计位置上 (ΔX 、 ΔY 、 ΔZ), 要求:

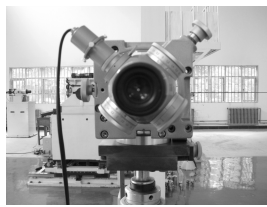


图3 测微准直望远镜

- 1) 立方镜坐标系与加载头坐标系平行;
- 2) 立方镜的中心位于加载头坐标系的 (ΔX 、 ΔY 、 ΔZ), 其中: $\Delta Z = 0$ 。

系统可满足加载头定位精度指标:

- 1) 加载头的水平度: $\leq \pm 3''$;
- 2) 加载头的定位精度: $\pm 0.05\text{mm}$ 。

1.3 测微准直望远镜

用于大尺寸测量时建立基准线。它主要用来提供

一条从零到任意远的光学基准视线及与此相垂直的直线、平面。天平校准加载头主要是结合它的自准直功能, 利用一个与基准线垂直的反射平面, 通过与安装在加载头上的立方镜的十字目标位置比较进行调整, 将加载头精确定位在加载坐标系内。

1.4 定位目标

在水平面内调整加载头的方位, 使加载头的中心位于 X 轴与 Z 轴的交点处, X 轴位于 X 向 4 个滑轮组的对称中心线上, Z 轴位于 Z 向两个滑轮组的对称中心线上。

2 调试项目

2.1 平面反射镜基准调试

加载头安装调试前首先要保证测微准直仪位置的准确, 为了检查测微准直望远镜的位置是否发生了变化, 加配了校准装置, 校准装置如图 4 所示。校准装置主要是



图4 平面反射原理图

是一个带有十字标记的平面反射镜, 它安置在测微准直望远镜的轴线上并与轴线垂直, 反射镜的十字标记中心与望远镜的角度分划板中心重合。反射镜安置在相对稳定的基座上。

2.2 建立瞄准坐标系

根据确定好测微准直望远镜的位置, 调整立方镜的位置。以精密立方镜的两个工作面为目标, 移动加载头, 调整加载头角位移和线位移, 确定立方镜



图5 用准直望远镜建立的

的位置, 分别调整两个测微准直仪轴线与立方镜的工作面垂直且通过立方镜的十字刻线中心, 则调整后的两台测微准直仪位于同一水平面且互相垂直, 它们的轴线交点位于立方镜的中心, 调整原理如图 5 所示。

2.3 复现加载头坐标系

由于加载头坐标系与立方镜坐标系之间保持固定的关系, 复现加载头坐标系相当于复现立方镜坐标系。通过测微准直望远镜观察立方镜的准直像, 调整加载头, 使准直像与望远镜的角度分划板的十字标记重合。为了快速方便的调整系统增加了粗定位装置。两激光投点器发出的光线粗略的交汇在立方镜的中心位置上。

3 定位方法

加载头安装定位前,首先要进行平面镜基准调试,这是加载头定位的前提。为了实现加载头的空间精确定位,可以采用两种定位方法,一是初始定位方法,二是通过不断摸索总结的快速定位方法。

3.1 初始定位方法

加载头定位初始的方法是采用先固定安装加载头,通过测微准直望远镜观察立方镜的十字目标慢慢移动加载头,寻找加载头的空间位置坐标,从而保证加载头立方镜的坐标与测微准直望远镜建立的坐标重合,达到空间定位的目标。

3.2 快速定位方法

实现快速定位的关键是:1)天平与加载头的配合安装,保证安装位置满足 $\alpha \leq 3'$, $\beta \leq 3'$, $\mu \leq 3'$;2)优化加载头六个自由度调整位移的顺序,依据先线位移后角位移的原则,位移调整顺序为 X 、 Z 、 Y 、 α 、 β 、 γ 。采用粗定位与精确定位相结合的办法,实现加载头的快速定位。

3.2.1 粗定位

粗定位采用激光投点器引导,根据激光投点器发出的可见红光位置,调整加载头的位置,使投点器的光斑尽量照射在立方镜的中心位置,调整加载头角度(俯仰与偏摆),尽量使投射到立方镜上的激光点的反射光斑进入测微准直望远镜的视场内。

3.2.2 精确定位

粗定位结束后,要进一步进行精确定位。首先对加载头进行线位移调整,通过观察准直望远镜的准直像和立方镜上的十字分划线,不断调整加载头位置,使角度分划板的十字线与立方镜十字线重合,如果它们的中心分别与角度分划板的十字线中心重合,则表明加载头的一个水平轴向位置已经确定。而进行加载头角度定位,通过调整加载头角位移 α 、 β 、 γ ,使得位移分划板反射像的圆心与望远镜位移分划板的十字中心重合,即望远镜的光轴与立方镜准直加载头基本实现准直调整,角位移定位结束。只有线位移和角位移都满足要求,加载头实现了精确定位。

3.3 加载头精确定位

一个方向的测微准直望远镜完成了定位目标后,进行另一个方向的测微准直望远镜的定位,只有当两个方向的测微准直望远镜都完成了定位目标,则说明加载头进入了预定的空间坐标内,加载头实现了精确

定位,则可以进行天平校准的下一项准备工作。

Z 方向测微准直望远镜可实现线位移 X 、 Z 方向和角位移 α 、 β 的定位, X 方向测微准直望远镜可实现线位移 X 、 Z 方向和角位移 β 、 γ 的定位。

4 方法比较

初始定位方法是树立了一个空间目标,但是如何达到目标则没有详细的安排和具体的调节步骤,需要天平校准人员不断尝试进行调整定位,费时费力。快速定位方法则是初始定位方法的一个改进,与初始定位方法相比,更加关注加载头前期的安装,一方面可以确保天平与加载头作为一个整体进行定位,另一方面保证天平与加载头位于同一空间坐标系内,但这样需要多个人员的配合,同时增加了安装时间。总的来说,快速定位方法调目标明确,调节步骤清晰,与初始定位方法相比可以在较短的时间内达到定位目标。

5 结论

应用两种方法对多台天平进行了校准前的安装定位,通过对结果分析比较,得到了以下结论:

1)快速定位方法能够缩短定位时间,提高工作效率。初始定位调整带有随机性,一般耗时不确定,但最少需要40min,而快速定位则最多需要20min。

2)应用快速定位提高了定位精度,保证了加载头定位的成功率和天平校准的准确率。应用此方法校准的天平达到了GJB 2244-94规定的合格指标要求,部分指标进入先进指标。

故快速定位方法应用于天平校准加载头的空间坐标精确定位是成功的。

参考文献:

- [1] 贺德馨. 风洞天平[M]. 北京:国防工业出版社,2001.
- [2] 王继虎. 六自由度天平校准系统瞄准定位系统设计报告[R]. 北京:北京长城计量测试技术研究所,2006.
- [3] 赵长辉. 天平校准系统设计报告[R]. 沈阳:中国航空工业空气动力研究院,2006.
- [4] 蒋有年. 测微准直望远镜与零距离直角头组合后同轴度误差的测定和消除[J]. 航空制造技术,1983(5):5-7.
- [5] 张尧禹,张明慧,乔彦峰. 一种高精度非接触位置测量系统[J]. 光学精密工程,2002,10(1):41-44.
- [6] 付芸,张响,武克用. 非接触交会测量法在空间位置测量中应用[J]. 光电工程,2005,32(9):39-42.