

文章编号:1674-8190(2018)04-501-05

无人机制造外形气动偏差评估方法

包晓翔,孙凯军,付义伟

(中国航空气动力技术研究院 彩虹无人机科技有限公司,北京 100074)

摘要: 气动外形对无人机起着至关重要的作用,有必要对其制造外形的气动偏差进行评估。利用数字摄影测量系统获得无人机制造外形的点云数据;以机头为参考点,将测量点云数据模型与理论模型的坐标系重合,对比重合度并统计无人机制造外形与理论外形的几何偏差分布;根据点云数据进行逆向建模,获得无人机制造外形的三维模型;对无人机理论外形进行 CFD 计算,与其风洞试验数据进行对比,通过调整网格及计算方法,得到与试验数据相吻合的 CFD 计算方法;以此方法计算得到无人机制造外形的气动数据,并与无人机的理论气动力进行对比。结果表明:此评估方法能够定量地评估外形制造偏差对无人机气动特性的影响。

关键词: 无人机;气动外形;制造偏差;数字摄影;CFD

中图分类号: V211.3

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2018.04.006

Evaluation Method of UAV Manufacturing Deviation on Its Aerodynamic Characteristics

Bao Xiaoxiang, Sun Kaijun, Fu Yiwei

(Cai Hong Unmanned Aerial Vehicle Technology Co., Ltd., China Academy of Aerospace Aerodynamics, Beijing 100074, China)

Abstract: Aerodynamic shape is very important to UAV. It is necessary to estimate UAV manufacturing deviation on its aerodynamic shape. The point cloud data of manufacturing shape of UAV can be measured by digital photogrammetric system. With the reference of nose, geometric deviation distribution statistics of the UAV can be obtained by the coordinate system of the point cloud model overlapping with the theoretical UAV model. Based on the cloud point, the three-dimensional model of manufacturing shape can be constructed by reverse modeling. The method that matches the test data can be obtained by comparing CFD calculation of the theoretical UAV with the wind tunnel test data by adjusting the grid and method of calculation. Aerodynamic data of the manufacturing shape can be obtained by using the same calculation method to compare with the aerodynamic force of theoretical shape. Result shows that aerodynamic characteristics of the UAV manufacturing deviation can be quantitatively estimated.

Key words: UAV; aerodynamic configuration; manufacturing deviation; digital photograph; CFD

0 引言

气动外形对无人机起着至关重要的作用,它提供无人机飞行时所需的升力及飞行姿态力矩平衡。无人机的气动外形是根据其任务剖面设计点确定

设计的,如果其外形发生变化,特别是机翼、尾翼(或鸭翼)等升力面的外形变化,轻则影响无人机性能指标和飞行品质,重则影响飞行安全。然而在飞机制造过程中,外形加工不可避免地会出现误差和偏差,因此需要对所加工的外形进行检测验收,评估制造误差对无人机气动特性的影响,以保证无人机满足性能指标和飞行安全。

飞机制造结构验收常用的方法是测量翼面及机身的关键尺寸、相对位置、安装角度等。此方法

收稿日期:2018-01-15; 修回日期:2018-03-20

通信作者:付义伟,9063821@qq.com

的缺点是不能准确地、全面地检测飞机外形制造的几何偏差,例如机翼翼型偏差、翼面上的凸凹变形等,也不能定量地评估制造误差对飞机气动性能的影响。

近年来,数字摄影测量技术已被广泛地应用于航空航天领域。R. S. Pappa 等^[1]利用数字相机测量了航天器天线;M. D. Nowak 等^[2]采用一种高精度数字摄影系统测量了太空望远镜;蒋山平等^[3-4]对卫星等航天器结构变形进行了摄影测量;邹冀华^[5]、邹爱丽等^[6]将数字化测量技术运用到飞机装配中;牛润军^[7]对飞机部件的数字化测量技术进行了相关研究。目前,国内外鲜有利用数字测量系统来评估无人机制造气动偏差的相关研究。

在气动方面,计算流体力学(CFD)技术^[8]已较为成熟,且计算精度很高。本文基于数字摄影测量及 CFD 技术,提出一种评估无人机制造外形气动偏差的方法,以期实现定量地评估制造误差对飞机气动性能的影响。

1 评估方法

评估无人机外形制造气动偏差的方法如图 1 所示。

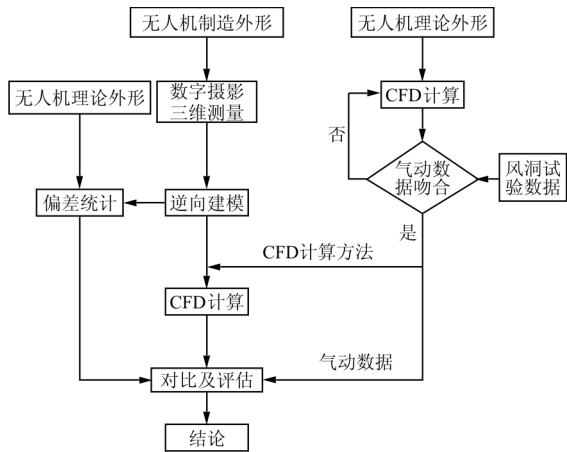


图 1 气动偏差评估流程

Fig. 1 Aerodynamics deviation assessment flowchart

首先将制造出的待测无人机水平地放置在地面上,利用数字摄影测量系统测量并获得无人机外形的点云数据。以机头为参考点,将测量点云数据与理论模型的坐标系重合,对比重合度统计无人机制造外形与理论外形的几何偏差分布。在三维建模软件中,根据点云数据进行逆向建模,获得无人机制造外形的三维模型。对无人机理论外形进行

CFD 网格划分,利用 CFD 计算得到气动力,并与其风洞试验数据进行对比,可以通过调整网格(例如网格数量、局部网格加密及附面层网格尺寸等)及计算方法设置(例如湍流模型、离散格式及边界条件等)得到与试验数据相吻合的 CFD 计算方法。将逆向建模模型导入无人机理论外形的 CFD 网格,将网格进行微调适配;采用相同的 CFD 计算方法进行计算,得到无人机制造外形的气动数据。将逆向建模模型的气动力与无人机理论气动数据进行对比,即可评估外形制造误差对无人机气动特性的影响。

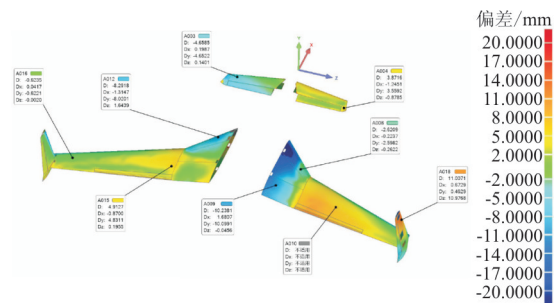
2 无人机制造外形及数字摄影测量

某型无人机的生产制造实物如图 2 所示。将无人机摆放在水平地面上,由郑州辰维科技股份有限公司采用数字摄影测量系统测量得到无人机的点云数据(测量精度在 1 mm 以内)。由于影响无人机气动性能的主要因素是翼面(机身的变化仅对阻力有一定影响),只测量无人机机翼、鸭翼及垂尾。将所获得的点云数据模型与无人机理论设计三维模型的坐标系重合,对比无人机制造模型的测量数据与理论模型,并进行偏差分析和偏差统计,如图 3 所示。图 3(a)为测量模型表面与理论外形尺寸偏差分布(单位为 mm),颜色越深表示偏差越大,图 3(b)为不同偏差高度在全机偏差中所占百分比的统计。

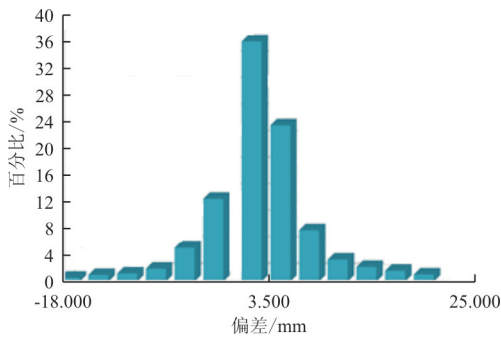


图 2 某型无人机制造实物

Fig. 2 Manufacturing shape of a UAV



(a) 偏差分布



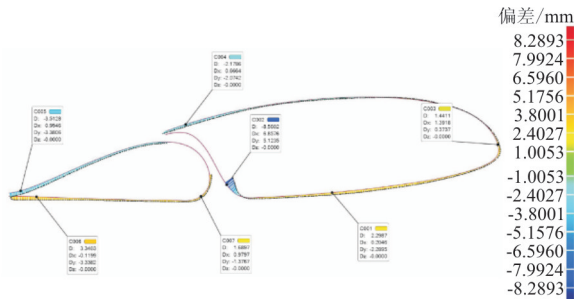
(b) 偏差分布统计

图 3 制造模型与理论外形偏差

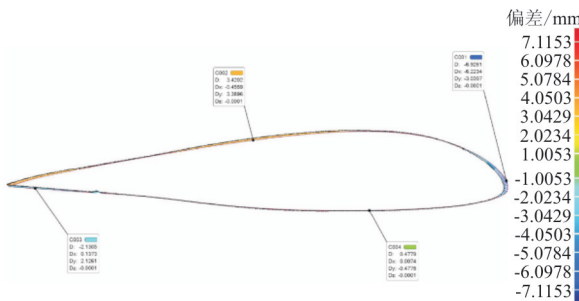
Fig. 3 Deviation in the shape of the UAV

从图 3 可以看出:无人机制造偏差集中在 2~5 mm,最大为 25 mm。

分别截取了设计外形(实线)和实测外形(虚线)展向 $z=400$ mm 和 $z=2\ 400$ mm 的翼型进行对比,如图 4 所示。



(a) $z=400$ mm 鸭翼对比



(b) $z=2\ 400$ mm 机翼对比

图 4 截面偏差对比

Fig. 4 Deviation of cross section comparison

从图 4 可以看出:无人机制造外形的右侧机翼及鸭翼截面与理论设计偏差较大,最大偏差为 20 mm。

3 逆向建模及 CFD 计算

3.1 逆向建模

根据测量得到的点云数据采用 NURBS 曲面^[9]进行逆向建模,如图 5 所示。

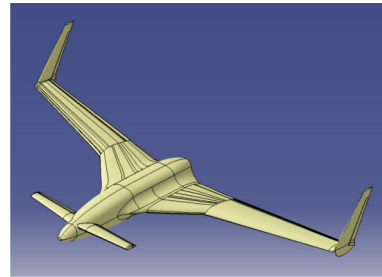


图 5 无人机逆向建模三维模型

Fig. 5 Inverse modeling of UAV

3.2 网格划分及计算分析

全模网格由 ICEM 生成的 O-H 结构网格,网格量 1 000 万左右,网格示意图如图 6 所示。

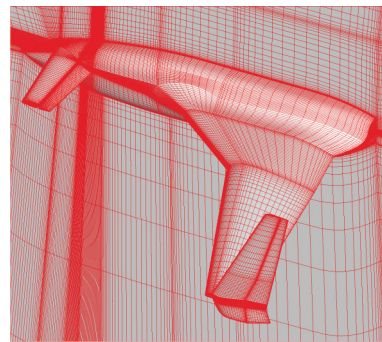


图 6 网格示意图

Fig. 6 CFD grid

CFD 计算利用 Fluent 软件,采用有限体积法^[10]求解 N-S 方程,选用 S-A 湍流模型,采用压力远场和切向无滑移、绝热壁和法向无穿透物面边界条件。

计算状态:速度 50 m/s,飞行高度 0 km,攻角范围 $-4^{\circ}\sim 8^{\circ}$,侧滑角为 0° 。

首先,对无人机理论外形进行 CFD 计算,通过网格调整及计算设置,使 CFD 结果与风洞试验相吻合(在此不做详述)。利用该方法,对逆向建模外形进行 CFD 计算,并将计算结果与理论值进行对

比,如图7~图8所示。

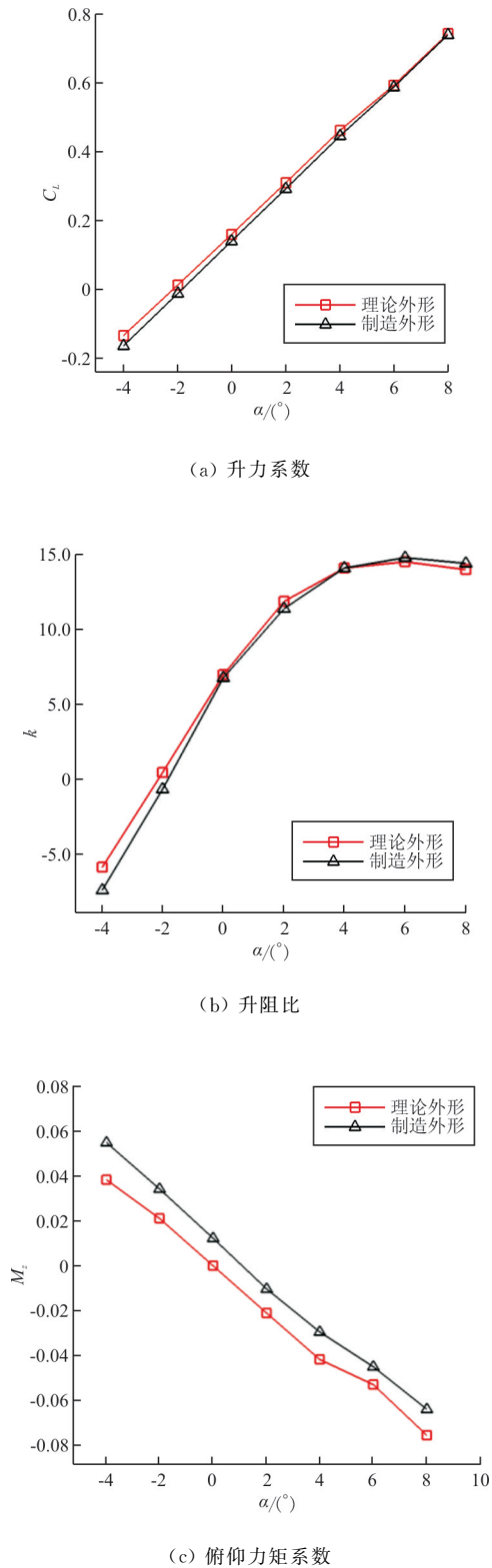


图7 基本气动力对比

Fig. 7 Aerodynamic characteristics comparison

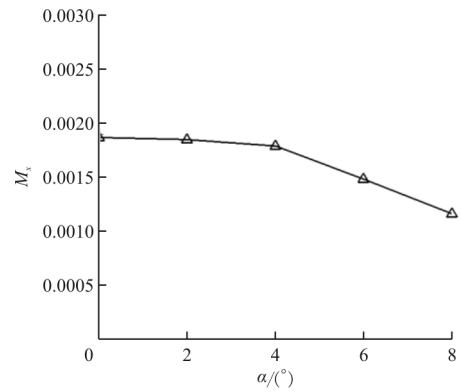


图8 无人机制造外形滚转力矩

Fig. 8 Roll torque coefficient of manufacturing shape

从图7可以看出:无人机制造外形升力下降,特别是在小攻角时,比理论值下降了12%;小攻角范围($0^\circ \sim 4^\circ$)内,升阻比变化不大;制造外形俯仰力矩系数整体向上平移,偏差 1° 配平攻角,将影响无人机飞行升降舵配平舵偏角。

从图8可以看出:无人机理论外形是左右对称的,其横向力矩为零,但制造外形存在一个向右的滚转力矩,且从图3(a)也可以看出,左右机翼偏差呈不对称性。因此,无人机平飞时,为了保证飞机横向平衡,需要副翼预置一定角度。

此外,利用计算的气动数据,可以进一步评估外形制造偏差的无人机起飞距离、离地速度、爬升率、航程及航时,进而全面评估其技术指标及飞行品质,避免无人机飞行时因外形制造偏差带来的安全隐患。

4 结论

(1) 本文基于数字摄影测量系统及CFD计算技术提出了一种评估无人机外形制造偏差对气动性能影响的方法,该方法能够定量地评估外形制造偏差对无人机气动特性的影响。

(2) 针对某型无人机进行制造外形偏差评估,升阻比下降明显,纵向和横向都存在力矩偏差,需要一定的预置配平舵面。

(3) 利用此方法,可以全面统计无人机制造外形与理论外形的几何偏差分布,能获得无人机制造外形的气动数据,定量地给出气动偏差,为进一步评估其性能指标和飞行品质提供依据。

参考文献

- [1] Pappa R S, Giersch L R, Quagliaroli J M. Photogrammetry of a 5m inflatable space antenna with consumer digital cameras[R]. NASA/TM-2000-210627, 2000.
- [2] Nowak M D, Cofie E, Davila P S, et al. Cryogenic performance of a high precision photogrammetry system for verification of the James Webb Space Telescope Integrated Science Instrument Module and associated ground support equipment structural alignment requirements[J]. Optical System Alignment, Tolerancing, & Verifica, 2010, 7793(50): 640-643.
- [3] 于江, 蒋山平, 杨林华. 基于数字近景摄影测量的天线变形测量[J]. 航天器环境工程, 2008, 25(1): 56-58.
Yu Jiang, Jiang Shanping, Yang Linhua. Displacement measurement of antennas by means of digital close range photogrammetry[J]. Spacecraft Environment Engineering, 2008, 25(1): 56-58. (in Chinese)
- [4] 许杰, 蒋山平, 杨林华, 等. 卫星结构件常压热变形的数字摄影测量[J]. 光学精密工程, 2012, 20(12): 2667-2673.
Xu Jie, Jiang Shanping, Yang Linhua, et al. Digital photogrammetry for thermal deformation of satellite structures in normal environment[J]. Optics and Precision Engineering, 2012, 20(12): 2667-2673. (in Chinese)
- [5] 邹冀华. 飞机数字化测量辅助装配技术及应用[J]. 航空制造技术, 2009(24): 48-52.
Zou Jihua. Aircraft digitized measurement aided assembly technology and application[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2009(24): 48-52. (in Chinese)
- [6] 邹爱丽, 王亮, 李东升, 等. 数字化测量技术及系统在飞机装配中的应用[J]. 航空制造技术, 2011(21): 72-75.
Zou Aili, Wang Liang, Li Dongsheng, et al. Application of digital measuring system in aircraft assembly[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2011(21): 72-75. (in Chinese)
- [7] 牛润军. 飞机部件外形数字化测量技术研究[J]. 新技术新工艺, 2015(11): 42-44.
Niu Runjun. The research on digital measuring of aircraft components shape[J]. New Technology & New Process, 2015(11): 42-44. (in Chinese)
- [8] 朱自强, 陈迎春, 王晓璐, 等. 现代飞机的空气动力设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
Zhu Ziqiang, Chen Yingchun, Wang Xiaolu, et al. Aerodynamics design of modern aircraft[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2011. (in Chinese)
- [9] 王开松, 周晴晴, 倪任重. 基于CATIA逆向工程复杂样条曲线重构方法研究[J]. 安徽理工大学学报: 自然科学版, 2012, 32(2): 10-12.
Wang Kaisong, Zhou Qingqing, Ni Renzhong. Study on the complex spline reconstruction method based on CATIA reverse engineering[J]. Journal of Anhui University of Science and Technology: Natural Science, 2012, 32(2): 10-12. (in Chinese)
- [10] 李人宪. 有限体积法基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
Li Renxian. Basis of finite volume method[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2008. (in Chinese)

作者简介:

包晓翔(1990—),男,硕士,工程师。主要研究方向:飞行器总体设计与气动布局。

孙凯军(1986—),男,硕士,工程师。主要研究方向:飞行器气动布局设计、螺旋桨设计。

付义伟(1980—),男,硕士,高级工程师。主要研究方向:飞行器总体设计与气动布局。

(编辑:马文静)