

飞机大部件对接测量方案的研究与应用

付景丽,侯兆珂,谢 星

(中航通飞华南飞机工业有限公司,珠海 519040)

[摘要] 自从飞机开展数字化设计后,大大提高了飞机装配精度和质量,同时对装配过程的测量也提出了新的要求,因此,只有通过高效的测量手段和方案才能满足飞机装配精度。以大型灭火/水上救援水陆两栖飞机——AG600的三大部件对接为研究对象,基于测量体系的建立和激光跟踪仪测量转站技术,研究飞机大部件调姿的测量技术。该飞机大部件调姿的测量是利用激光跟踪仪对部件上的多个基准点进行测量,通过柔性装配工装实现飞机的姿态调整,进而达到飞机安装要求的测量调姿过程,对于传统测量方法,采用激光跟踪仪进行转站测量的方法,不失为最简单有效的大飞机部件对接测量方法。

关键词: 大部件对接;测量体系;激光跟踪仪;转站;测量方案

Research and Application of Measurement Programme of Large Parts of Aircraft Joint System

FU Jingli, HOU Zhaoke, XIE Xing

(AVIC GA Huanan Aircraft Industry Co., Ltd., Zhuhai 519040, China)

[ABSTRACT] Since the development of digital design for aircraft, the accuracy and quality of aircraft assembly have been greatly improved. At the same time, new requirements have been put forward for the measurement of assembly process. Therefore, only through efficient measurement means and schemes can the aircraft assembly accuracy be satisfied. Based on the establishment of measurement system and the transfer station technology of laser tracker, this paper studies the measurement technology of attitude adjustment of large components of the large-scale fire extinguishing/rescue amphibious aircraft AG600. The attitude adjustment measurement of the aircraft's large parts is based on the measurement of several reference points on the parts by laser tracker, and the adjustment of the aircraft's attitude is realized by flexible assembly tooling, so as to meet the requirements of the aircraft installation. For the traditional measurement method, the laser tracker is used for the transfer station measurement, which is the simplest and most effective method for the large aircraft parts docking measurement.

Keywords: Large parts joint; Measurement system; Laser tracker; Transfer station; Measurement programme

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2019.23/24.079

随着飞机制造业的快速发展,采用传统的飞机测量方法已经无法适应飞机设计和制造的发展要求。融入自动识别系统的数字化测量技术以其测量精度高、自动计算速度快、控制系统自动识别等优势逐渐成熟。特别是对于大型飞机的测量其应用前景非常广泛。该技术解决了传统测量方法效率低、精确度低、计算繁琐等缺点,具有非常强大的工程应用空间^[1]。

本文通过深入介绍该飞机三大部段对接测量流程,详细阐述AG600飞机装配测量体系建立的原理及方案。进一步阐述传统的飞机测量方法存在的不足,而国

内飞机发展装配精度要求不断提升的发展现状。

1 飞机制造中测量技术的发展及应用

1.1 飞机制造的数字化测量技术

随着测量技术和测量设备的快速发展,许多高效率、高精度的飞机数字化测量技术在飞机制造领域得到广泛的应用。一些光学检测技术取得较大发展,其相关的仪器设备,如全站仪、水准仪、GPS接收机、数字扫描仪、激光雷达扫描测量系统、激光跟踪仪、机器视觉测量系统等已普遍应用在国内外许多飞机制造领域^[2]。对

于一些大飞机、特种飞机,传统的测量方法已无法满足其精度要求,数字化集成的测量技术得到快速的发展和应⤵用,尤其是采用数字化测量系统与自动调姿控制系统组合的方式,不仅可以克服测量范围大、测量次数多而精度低的矛盾,还可以快速获得测量结果,不仅加快了工作效率,还大大提高了飞机对接精度及装配质量。

国外飞机制造企业已经普遍采用基于数字化测量设备进行质量控制,如:波音、空客、庞巴迪等公司,均开发了相应的测量数据分析系统,建立了较完整的数字化测量技术体系及相应的检测技术规范,大大提高了检测速度和准确性^[3]。

1.2 数字化测量技术在装配中的应用

飞机的装配过程大致可以分为以下几个阶段,从最初的产品设计、工艺方案的确定、工艺准备、大部件生产、大部件对接装配和全机总装等过程^[4]。许多飞机,在部件装配过程中,大量采用数字化滑轨爬行机器人自动钻铆技术,装配夹持工装和钻铆设备从结构和功能上集成一体,而且自动化程度越来越高,形成大规模的飞机部件数字化自动钻铆装配生产线;在总装过程中,采用柔性数字化装配系统,集成工装和测量系统,实现飞机姿态调整和测量系统的融合,飞机的数字化装配大幅减少了飞机装配所需的工装数量和种类,如AG600飞机总装型架,采用柔性支撑定位系统工装,是飞机数字化装配系统的典型代表,通过在飞机机身上设置测量点,通过激光跟踪仪测量这些测量接头位置信息,转化到飞机坐标系下进行比较分析,从而实现对接时各部件的状态调整。此数字化柔性调节工装大大减少协调标准工装、定位工装、测量工装、检测工装的数量^[5]。

2 测量体系的布局

布置新型地标系统,通过以飞机对称中心线为中心布置长方形的地标测量系统,以3m的间距均布,实现每测一个测量点,激光跟踪仪扫射的地标点都在6m的范围内,极大地保证了测量的精度,符合激光跟踪仪限制10m内高精度的要求^[6]。

设计新型的靶标结构,通过在地面预埋钢板,然后在预埋钢板上放置调平钢板,把紧螺钉和调整螺钉进行调平,通过灌胶固定底板,然后配钻两个销钉,以备返修时定位,调平板的上面放置靶标座,用四周的横向螺栓调整水平方向,然后通过上面的4个螺钉拧紧,灌胶固定,直接放上顶部的保护块,再放上橡胶堵塞,用的时候直接取下橡胶堵塞,放上靶标球就可以了。整个测量地标的布局图见图1,靶标的结构示意图见图2。

3 三大部段对接及测量方案介绍

3.1 AG600对接方案介绍

AG600飞机全机结构大部件:机头、中机身、后机身、机翼,柔性支撑定位装置主要是用于完成三大机身部段、机翼(先装中央翼)的对接工作。每个部段上分别设置4个工艺接头,工艺接头不但起到定位测量姿态调整的作用,还起到部段吊运、与工装连接的功能^[7]。工艺接头连接采用的是球头结构,柔性装配定位系统采用的是球窝结构,通过自动控制系统实现同步升降的调节功能,通过手动丝杠调节实现手动微调功能。图3~5分别是机头工艺接头、中机身工艺接头、后机身工艺接头示意,图6为大部件对接装配顺序示意图。

本文主要介绍三大部段的对接,首先把中机身吊装在柔性支撑定位装配系统上,通过测量中机身上的测量点和对接面上的测量点,进行调整姿态,把中机身调到飞机理论位置;然后吊装机头,通过测量机头上的测量点位置和对接面的筒型周边设置测量点,把机头调整到理论对接安装位置的Y向400mm(长桁搭接为

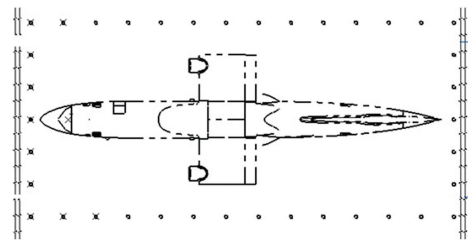


图1 整个测量地标的布局图
Fig.1 Placement map of entire survey landmark

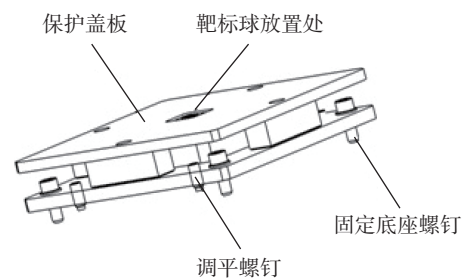


图2 靶标的结构示意图
Fig.2 Schematic diagram of target structure

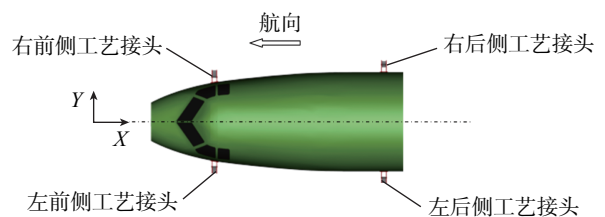


图3 机头工艺接头
Fig.3 Head technology connector

300mm, 给定 100mm 的安全距离)的位置,通过柔性支撑定位装配系统实现飞机的机头向中机身方向水平移动 400mm, 这时进行两大部段的对接; 最后,后机身吊装到柔性支撑定位装配系统上,通过测量后机身上的测量点位置 and 对接面的筒型周边设置测量点,把后机身调整姿态到可装配状态 Y 向远离中机身 400mm 的距离,然后通过柔性支撑定位装配系统实现飞机的后机身向中机身方向水平移动 400mm, 这时进行后机身与机身的对接,到此实现三大部段的对接装配工作^[8]。

3.2 AG600对接测量方案介绍

机身的装配测量分左、右两侧,本测量方案将机身左侧的测量方法进行详细说明,而机身右侧的测量方法则与机身左侧测量方法相同即可。

机身左侧的整个测量过程需由跟踪仪在 4 个不同位置上完成测量,其中位置 1 对机头的姿态进行装配测量; 位置 2 对机头和中机身进行装配测量; 位置 3 对后机身姿态进行装配测量; 位置 4、5 对中机身和后机身进行装配测量; 所有测量的理论坐标值与测量坐标值此处不做详细分析^[9]。

3.3 AG600对接过程测量仪器放置规划

3.3.1 定位跟踪仪位置1

确立跟踪仪位置($X=1000$; $Y=-400$; $Z=-2096.482$),

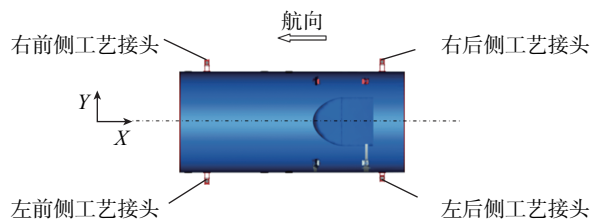


图4 中机身工艺接头

Fig.4 In fuselage process joints

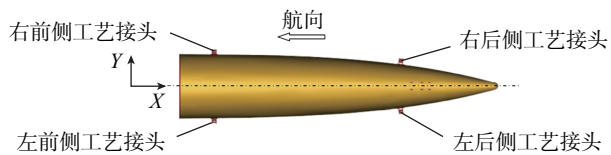


图5 后机身工艺接头

Fig.5 After fuselage technology joints

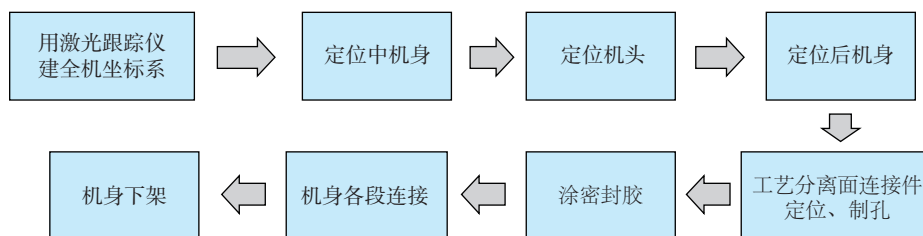


图6 大部件对接装配顺序图

Fig.6 Assembly of large parts docking sequence diagram

建立坐标系。

跟踪仪通过地面基准点用最佳拟合的方法建立坐标系^[10],坐标系公差为 $\pm 0.01\text{mm}$,基准点坐标位置及飞机上测量点位置见图 7、8。

3.3.2 定位跟踪仪位置2

确立跟踪仪位置($X=32835.625$; $Y=-6224.849$; $Z=-2096.482$),建立坐标系。

跟踪仪通过地面基准点用最佳拟合的方法建立坐标系,坐标系公差为 $\pm 0.01\text{mm}$,基准点坐标位置及飞机上测量点位置见图 9、10。

3.3.3 定位跟踪仪位置3

确立跟踪仪位置($X=32835.625$; $Y=-6224.849$; $Z=-2096.482$),建立坐标系。

跟踪仪通过地面基准点用最佳拟合的方法建立坐标系,坐标系公差为 $\pm 0.01\text{mm}$,基准点坐标位置及飞机上测量点位置见图 11、12。

3.3.4 定位跟踪仪位置4

确立跟踪仪位置($X=12966.616$; $Y=-3076.854$; $Z=-2096.482$),建立坐标系。

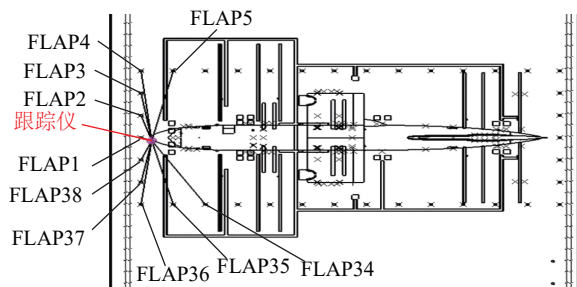


图7 No.1激光跟踪仪在测量体系中的位置

Fig.7 Laser tracker No.1 in measurement system position

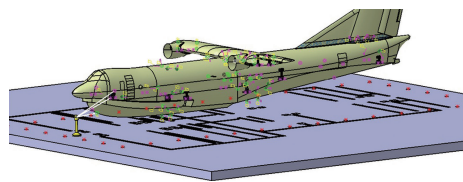


图8 No.1激光跟踪仪及测量点位置示意

Fig.8 Laser tracker No.1 and the measurement point position

跟踪仪通过地面基准点用最佳拟合的方法建立坐标系,坐标系公差为 $\pm 0.01\text{mm}$,基准点坐标位置及飞机上测量点位置见图 13、14。

3.3.5 定位跟踪仪位置5

确立跟踪仪位置($X=19385.374$; $Y=-3172.702$; $Z=-2096.482$),建立坐标系。

跟踪仪通过地面基准点用最佳拟合的方法建立坐标系,坐标系公差为 $\pm 0.01\text{mm}$,基准点坐标位置及飞机上测量点位置见图 15、16。

4 结论

在飞机的装配测量系统中,以激光跟踪仪组建的测量系统以其高效率、高精度融合自动调姿系统等优势取代了传统的测量方法,它代表了飞机制造装配测量技术发展的方向。随着飞机制造业的不断发展,应用数字化装配和激光跟踪仪相融合的检测方法的优越性将不断凸现,实现从飞机产品设计到装配的全数字量的传递。深入研究和发发展激光跟踪仪测量系统及其

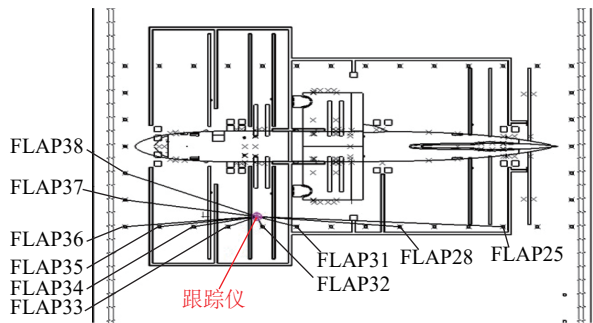


图9 No.2激光跟踪仪在测量体系中的位置

Fig.9 Laser tracker No.2 in measurement system position

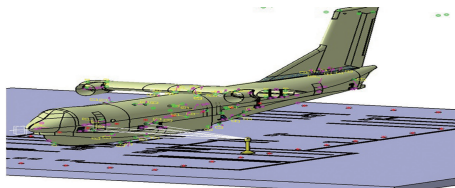


图10 No.2激光跟踪仪及测量点位置示意

Fig.10 Laser tracker No.2 and measuring point position indication

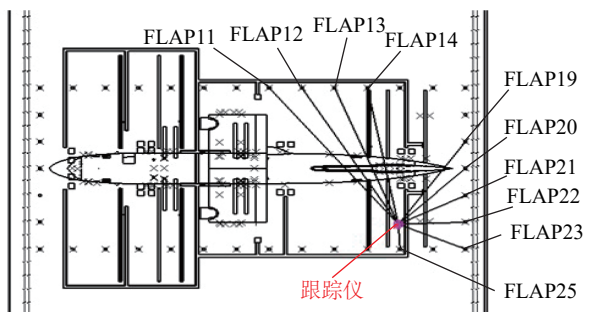


图11 No.3激光跟踪仪在测量体系中的位置

Fig.11 Laser tracker No.3 in the measurement system position

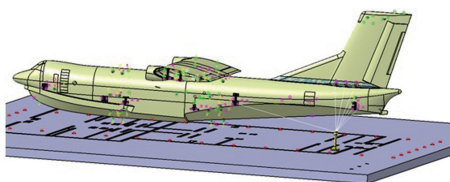


图12 No.3激光跟踪仪及测量点位置示意

Fig.12 Laser tracker No.3 and measuring point position indication

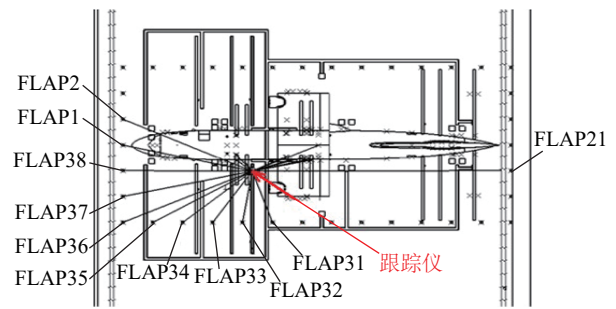


图13 No.4激光跟踪仪在测量体系中的位置

Fig.13 Laser tracker No.4 in measurement system position

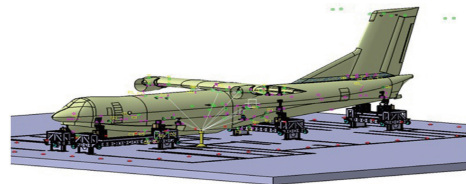


图14 No.4激光跟踪仪及测量点位置示意图

Fig.14 Laser tracker No.4 and the measurement point position diagram

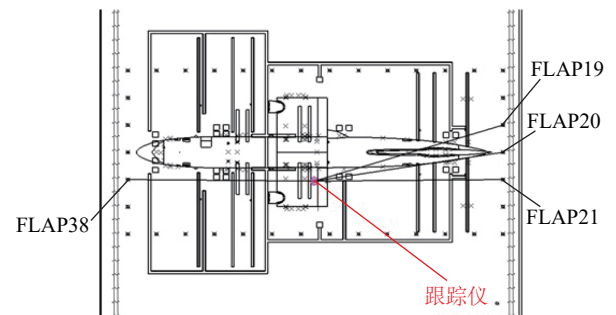


图15 No.5激光跟踪仪在测量体系中的位置

Fig.15 No.5 Laser tracker in measurement system position

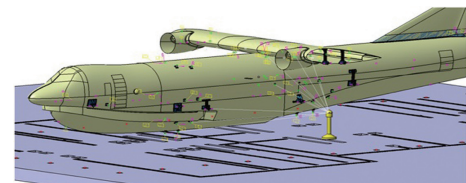


图16 No.5激光跟踪仪及测量点位置示意图

Fig.16 Laser tracker No.5 and the measurement point position diagram

测量体系建立等关键技术,并根据自动控制程序,把测量系统与数字化柔性装配控制系统相连接,将突破我国飞机对接、装配技术中的瓶颈,改变我国传统的飞机装配测量方法,使我国的飞机设计制造业实现快速发展。

对于小批量产能的飞机,采用地面测量系统,激光跟踪仪转站测量是目前最经济有效的手段。

参考文献

- [1] 林雪竹. 大飞机数字化水平测量系统及关键技术研究[D]. 长春: 长春理工大学, 2011.
- LIN Xuezhu. Research on the digital level-testing system and the key technology of the large airplane[D]. Changchun: Changchun University of Science and Technology, 2011.
- [2] 张志鹏. 基于逆向工程的精密注塑模具型腔质量数字化检测技术应用研究[J]. 内燃机与配件, 2018(18): 113-114.
- ZHANG Zhipeng. Research on the application of digital inspection technology of precision injection mould cavity quality based on reverse engineering[J]. Internal Combustion Engine & Parts, 2018(18): 113-114.
- [3] 安志勇, 曹秒, 段洁. 数字化测量技术在飞机装配中的应用[J]. 航空制造技术, 2013, 56(18): 48-51.
- AN Zhiyong, CAO Miao, DUAN Jie. Application of digital measurement technology in aircraft assembly[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013, 56(18): 48-51.
- [4] 王彬, 付景丽. 飞机大部件对接柔性支撑定位装置的研究及应用[J]. 航空制造技术, 2014, 57(21): 133-137.
- WANG Bin, FU Jingli. Research and application of aircraft butt of flexible supporting and locating device[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2014, 57(21): 133-137.
- [5] 周娜, 安志勇, 李丽娟, 等. 飞机数字化测量网络布站设计[J]. 光学精密工程, 2012(7): 1485-1491.
- ZHOU Na, AN Zhiyong, LI Lijuan, et al. Aircraft digital measurement net work station design[J]. Optics Precision Engineering, 2012(7): 1485-1491.
- [6] 于勇, 陶剑, 范玉青. 大型飞机数字化设计制造技术应用综述[J]. 航空制造技术, 2009, 52(11): 56-60.
- YU Yong, TAO Jian, FAN Yuqing. Summarization of large commercial jet digital design and manufacturing technology application[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2009, 52(11): 56-60.
- [7] 范玉青. 飞机数字化装配技术综述——飞机制造的一次革命性变革[J]. 航空制造技术, 2006, 49(10): 42-48.
- FAN Yuqing. Digital assembly for aircraft[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2006, 49(10): 42-48.
- [8] 陈智勇, 吴建军, 赵玉静, 等. 激光跟踪测量系统在飞机型面测量中的应用[J]. 机械设计与制造, 2009(12): 68-70.
- CHEN Zhiyong, WU Jianjun, ZHAO Yujing, et al. The application of laser tracker system in feature measurement for airplane[J]. Machinery Design & Manufacture, 2009(12): 68-70.
- [9] 赵建国, 郭洪杰. 飞机装配质量数字化检测技术研究及应用[J]. 航空制造技术, 2016, 59(20): 24-27.

ZHAO Jianguo, GUO Hongjie. Study and application of digital measurement technology for aircraft assembly precision[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2016, 59(20): 24-27.

[10] 邹冀华, 许国康. 大型飞机装配中的数字化测量系统分析和研究[J]. 航空制造技术, 2010, 53(3): 49-53.

ZOU Jihua, XU Guokang. Analysis and research of digital measurement system in large-scale aircraft assembly[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2010, 53(3): 49-53.

通讯作者: 付景丽, 高级工程师, 研究方向为飞机装配工艺装备设计、制造与应用技术, E-mail: lily-f@163.com.

(责编 阳光)

(上接第78页)

参考文献

- [1] 吕引明. 机翼翼盒翻转设备的设计与研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.
- LÜ Yinming. The research and design of wing box turnover device[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2016.
- [2] 单英吉, 李文强. 应用于飞机壁板制孔的回转装配工装系统设计[J]. 机床与液压, 2016, 44(14): 1-3.
- SHAN Yingji, LI Wenqiang. Design of rotating assembly fixture system of aircraft panels making holes[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2016, 44(14): 1-3.
- [3] 唐为民, 郭亚军, 王磊. 基于 AEMSim 的雷达背架翻转机构设计分析[J]. 四川兵工学报, 2014(11): 21-23.
- TANG Weiming, GUO Yajun, WANG Lei. Design and analysis of radar brace tilting mechanism based on AEMSim[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2014(11): 21-23.
- [4] 濮良贵, 陈国定, 吴立言. 机械设计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2013.
- PU Lianggui, CHEN Guoding, WU Liyan. Mechanical design[M]. Beijing: Higher Education Press, 2013.
- [5] 尤春风. CATIA V5 机械设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- YOU Chunfeng. CATIA V5 mechanical design[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002.
- [6] 曾攀. 有限元分析及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- ZENG Pan. Finite element analysis and application[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004.
- [7] 胡仁喜, 龙凯, 康士廷, 等. Patran 2014 与 Nastran 2014 有限元分析从入门到精通[M]. 北京: 机械工业出版社, 2018.
- HU Renxi, LONG Kai, KANG Shiting, et al. Learning finite element analysis software Patran 2014 & Nastran 2014[M]. Beijing: China Machine Press, 2018.

通讯作者: 陈浩, 硕士, 助理工程师, 研究方向为机械结构设计及有限元分析, E-mail: haochen_scating@foxmail.com.

(责编 阳光)