

数字化测量技术在试验机改装中的应用分析

闫鹏庆

(中国飞行试验研究院 陕西 西安 710089)

摘要: 试验机改装是飞行试验的重要内容,而随着航空技术的发展,测量技术在试验机改装中的关键作用日益凸显。本文对试验机改装中的数字化测量技术特点及其需求进行了阐述;对典型测量技术及数据处理技术的应用进行了分析;对试验机改装测量技术的发展进行了分析与展望,提出了综合柔性测量、在线测量、非几何量测量、智能测量与决策辅助的试验机改装数字化测量技术发展方向。

关键词: 试验机改装;数字化测量技术;应用;展望

0 引言

试验机改装是飞行试验工作的重要一环,也是航空工业具有鲜明特色的分支。试验机为了满足各种科研试飞科目对飞机状态、机载测试与测试设备的要求,必须进行相应的结构、设备加改装工作。随着现代飞机设计与制造水平的不断提高,随着智慧试飞理念的提出与发展,数字化测量技术在试验机改装中的重要性已经得到了广泛的认同。

科研试飞技术的发展使试验机改装工作对测量新技术新方法、测量精度、测量的数字化及信息化水平都提出了一定的要求。本文对试验机改装中的数字化测量需求与特点进行了分析,并就测量与数据处理技术的应用进行了介绍,并对试验机改装测量技术的发展进行了探讨。

1 试验机改装的测量需求与特点

不同于飞机制造过程,科研试飞中对试验机进行改装工作,具有临时性、专用性、多样性特点。试验机改装过程中,受制于成本与进度因素,很难像飞机制造过程一样定制专用夹具与测量系统。由于试验机改装工作所具有的特点,对测量技术也提出了独特的要求。

1.1 试验机及零件外形测绘

试验机改装中,为满足试验科目的要求,需对大量飞机进行局部适应性改装。试验机改装设计方法和工艺路线与飞机的设计制造有很大不同,仅靠飞机设计模型与图纸难以满足改装要求。为满足改装工作中对气动分析计算、三维设计与制造的需求,常要通过对试验机整机、局部以及零件外形进行测绘以获得基础性数据。用途不同的测绘对精度、分辨率、测绘速度等均有不同的要求。

1.2 快速、高精度定位与测量

随着军民用飞机的快速发展,飞机对安全性、结构

寿命、气动外形、隐身性能等要求越来越高,对飞机外形、部件的装配精度、系统标校精度等要求也随之提高,已达到亚毫米级。为保证改装设计、施工符合现代飞机制造、装配标准要求,不会引起原机性能下降,必须相应采用高精度的定位与测量手段。科研试飞对周期要求严格,因此定位与测量工作的速度也是需要考虑的重要因素。

1.3 施工辅助与质量检测

飞机制造流水线上,通过固定某一工位的工作内容来保证生产质量与效率。而科研试飞中每架试验机所承担的试验科目各不相同,每次进行改装的项目及其设计方法也不尽相同。施工者必然无法始终从事某一固定工序,在进行新的改装项目施工时,需要对设计内容进行重新消化、理解与实践,大大降低了施工效率。这种现状对改装施工人员的专业技术水平提出了更高的要求。传统施工辅助手段与质量检验方法已无法满足要求,必须采用新的技术与方法,才能保证施工质量与效率,同时降低施工人员的劳动强度。

2 数字化测量技术在试验机改装中的应用

鉴于试验机改装过程对测量技术的个性化需求,并不能照搬各主机厂采用的技术方法与工作模式。目前在试验机改装领域应用的测量技术主要有三坐标测量机、关节式测量机、全站型电子测距仪、激光跟踪仪、激光雷达、室内 GPS 技术等。

2.1 三坐标式与关节式坐标测量机

三坐标测量机与关节式测量机是通过测头在空间的多自由度运动接触被测物体表面来完成测量的。三坐标测量机测头通过导轨和伺服运动机构沿三个正交的轴移动;关节式测量机使用多根固定长度的测量臂及其转动的空间支导线进行非正交坐标系测量。两种设备都可以通过集成光学投影扫描仪,完成小范围内的非接触点云

扫描工作。

三坐标测量机技术成熟、测量精度高、成本低，能够通过软件控制完成高效率的自动测量工作，常用于试验机改装中关键结构零件的加工检测；但是该设备对环境要求高，便携性极差，难以满足试验机改装现场装配的测量要求。

关节式坐标测量机仅靠测量转角就可计算点的空间坐标，便携性更高、空间灵活性更好，对工作环境的要求也低于三坐标测量机，可以在改装现场开展部分测量工作。但是关节式测量机难以进行自动测量，人工测量时劳动强度大；同时会受到固定测量臂长度的限制，无法完成大范围的测量与定位工作。

2.2 全站仪

全站仪即全站型电子测距仪，是在传统的经纬仪与水准仪基础上发展而来，是电子经纬仪、光电测距仪及微处理器相结合的光电仪器。全站仪几乎可以用在所有的测量领域，具有技术成熟、体积小、部署快的特点，具有较强的环境适应能力，可以完成试验机在外场进行的大部件对接、水平测量等工作^[1]。但是全站仪采用光电测距原理，精度较低，不适合测量精度要求高的场合。

2.3 激光跟踪仪

激光跟踪仪与全站仪原理相近，也是一种空间球坐标测量仪器。激光跟踪仪采用绝对干涉仪测距，较全站仪的测距精度更高，测量速度更快，其整体测量精度与性能优于全站仪，在典型测量范围内（半径 80m）测量精度能够达到微米级。

由于激光跟踪仪精度高，部署快，在试验机改装中被广泛用于高精度定位、安装误差测量等场景中。以激光跟踪仪为基础，系统通过扩充手持式探测器、光学投影扫描仪、跟踪控制探测仪等设备，可以具备非接触的扫描与六自由度测量能力，满足试验机改装中大量测量需求。

扩充后的激光跟踪仪能够完成多种测量工作，但与专用设备相比，测量范围与测量效率仍有一定的差距；由于原理限制，激光跟踪仪使用过程中必须保证激光光路无遮挡，故其无法在复杂外形区域使用。

2.4 激光雷达

激光雷达与微波雷达的原理相似，是一种高精度的非接触测量设备。激光雷达可以同时完成坐标测量与大范围的测绘工作^[2]。激光雷达适合完成飞机垂平尾等各类难点的坐标测量工作；激光雷达点云扫描自动化程度高，效率高于常用的结构光投影扫描仪，能够快速完成蒙皮、壁板等大面积部件的扫描与检测工作。

激光雷达对环境的要求高，且受光路遮挡的影响比激光跟踪仪更大，而它的转站操作相比激光跟踪仪等设备又更加复杂，因此不适合完成复杂型面的测量工作。

2.5 室内 GPS 技术

室内 GPS 技术采用与全球定位系统相似的三角定位原理，使用激光作为定位信息载体。室内 GPS 技术与其他激光技术不同，根据发射站数量的不同，测量网络的规模可以进行灵活调整；各个接收终端间互不干扰，测量范围内可以通过扩充接收终端的数量实现多任务并行工作^[3]。室内 GPS 技术在小范围测量时，测量精度不高，但是由于其灵活性与可扩展性，适合构建基础定位网络，在同一机库多个工位进行工作时，可以使用室内 GPS 系统将各设备的定位数据进行统一；同时其大范围、并行式工作模式也适合为 AGV、自动检测机器人等自动终端提供定位与引导。

2.6 摄影测量技术与机器视觉技术

摄影测量技术与机器视觉技术都是以计算机技术、数字图像处理技术、模式识别技术等为基础理论与方法而发展出的综合技术，但本文所提及的两种技术侧重点各有不同^[4]。

摄影测量技术通过摄影方式完成图像捕捉并依靠相应的图像处理方法获取三维空间中的坐标。为保证识别的准确性，摄影测量系统通常需要通过粘贴、投影标志点/线等方式增加物体表面信息。与激光跟踪仪等传统激光测量设备相比，摄影测量技术测量精度并无优势，但该方法对被测物体影响小，测量效率高，适用于试验机的整机外形及特征点测量、大部件的轮廓及其变形测量。随着硬件水平的提高，摄影测量技术目前已经可以完成动态定位、引导、实时变形监测等工作。与结构光投影技术相结合的结构光摄影测量技术可以完成物体表面点云扫描；采用双目或多目的相对定位方法，则可以在测量过程中避免绝对定位法对测量基准的依赖，适合完成复杂内腔等复杂型面的扫描工作。

机器视觉技术模仿人眼的视觉功能，提取信息并进行处理，客观地完成测量与判断工作。机器视觉技术在多个领域都有着广泛的应用^[5]。机器视觉系统性价比高、实时性好，具有较强的容错能力。在试验机改装领域，机器视觉与其他定位手段以及力传感器相配合，能够完成高冗余度结构的装配辅助工作；通过该技术还能够完成改装施工中孔的圆度检测，铆接、焊接、切割质量检查，蒙皮间隙与阶差检测等多种工作。机器视觉系统具有很高的柔性，但是也对软件和图像处理算法提出了很高的要求，现在仍以专用化系统为主。

3 数字化测量数据处理及应用流程

3.1 测量数据

试验机改装后，通过激光跟踪仪、激光雷达等新型测量技术获取的飞机外形或零件外形数据一般是大量的离散点数据，这种原始数据一般被称为点云数据，如图 1 所示。

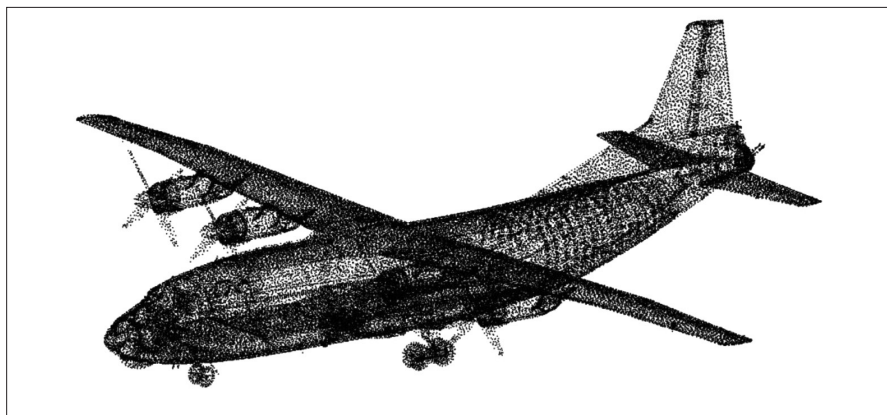


图1 飞机外形测量点云数据

3.2 测量数据处理

根据不同的应用目标,一般需对测量数据进行后期处理。例如数据用于方案沟通交流,一般只需要对数据进行精简及网格化;数据用于后续设计分析,则需要根据点云数据进行飞机或零部件的CAD模型重建。

测量数据处理过程中,点云数据将进一步被处理为 mesh 面片数据或 CAD 模型数据,不同过程数据形态如图2所示。

点云数据处理流程如图3所示。数据预处理一般包含多视点云拼合、降噪、除杂、精简、三角网格化以及网格数据轻量化处理。CAD模型重建流程为,通过逆向设计技术对预处理后的数据进行特征识别、区域分割、曲线拟合和曲面重构,最终形成CAD模型。

4 试验机改装数字化测量技术展望

4.1 综合的柔性系统

试验机改装工作重复性低,涵盖面广,为改装工作配备的专用测量系统效率低、成本高。试验机改装领域使用的数字化测量技术以综合式系统为主,不追求单一技术指标的大幅提升,而以整套系统的高柔性作为发展目标。前述各种技术手段,各有其优缺点,无法使用任意一种技术满足所有的测量需求。将各种技术手段有机融合在一起,才有利于解决试验机改装中遇到的各类测量问题。除了硬件系统表现出高柔性,系统的软件也需要有足够的适应能力,可以通过软件整合、调用的方式将多个硬件联系成为一个整体,使系统与任务相适应。

4.2 在线测量

试验机改装领域中的检测主要是以离线检测的形式进行,动态的在线测量与质量检测应用很少。试验机改装施工控制越来越精细化,对测量时效性提出了更高的要求,传统模式难以满足要求。要实现试验机改装的在线测量,需要在提高单套设备性能的基础上,建立并完善数据传输、共享网络,并采用新的管理模式。

4.3 非几何量的数字化测量

部件的装配应力、零件的损伤等非几何量对于改装质量乃至飞行安全至关重要,目前尚无快速、有效的数字化测量手段。要对试验机改装过程与质量进行全面控制与评估,在几何量测量之外,必须实现各类非几何量的数字化测量,进一步完善试验机改装数据体系。

4.4 智能测量与决策辅助

试验机改装任务的多样性使得改装测量和过程控制的难度大于其他制造任务。凭借设计人员与施工人员

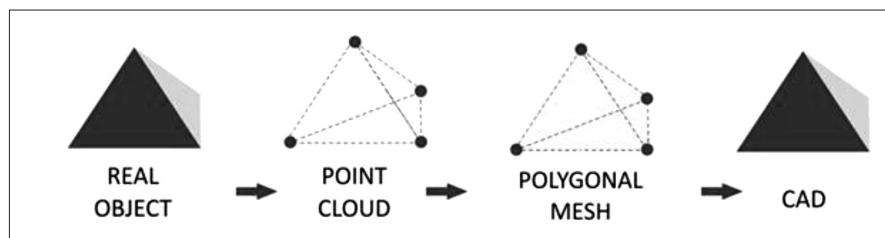


图2 测量数据的不同形态示意图

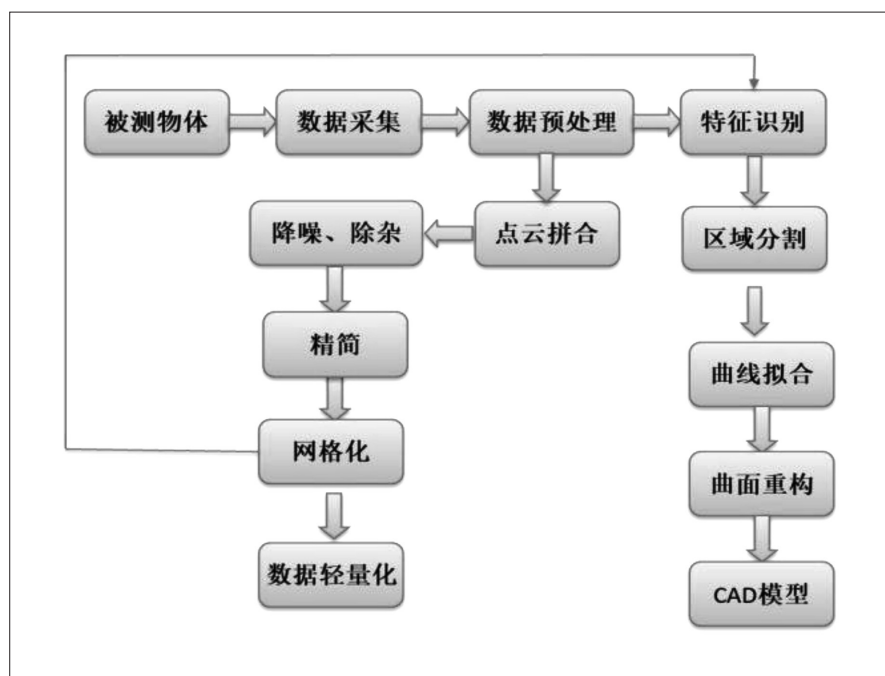


图3 测量点云数据处理流程

(下转第31页)

者在钻进过程中有位移或沉陷；钻杆弯曲接头不正。针对上述问题，主要应该采取以下预防措施：严格控制钻机稳定性，并定期对钻机安装情况进行检查，发现问题后进行调整；控制钻孔的垂直度，并将导向杆设置在钻杆上，从而对钻杆摆动情况加以控制。在发生问题后，针对软硬底层交界处的钻进，应该控制好钻进速度，并及时对孔壁进行清理，确保桩孔的竖直度达到要求；如果钻进过程中有硬物，则要采用冲抓锥将其排除掉。

(2) 扩孔、缩孔的预防和处理。钻进过程中钻头发生大幅度摆动，或者没有调整好钻孔中心位置导致偏位；钻进作业时有膨胀性土层；钻头磨损程度较大且修补不到位；泥浆比未达到要求。针对上述问题，可采取以下措施进行预防：合理选择钻头的直径，并且对钻杆的刚度、转矩等进行设计，在钻进过程中对偏位问题进行定期检查，采取有效的控制措施；钻进过程中的地质条件进行观察与分析，如果不符合设计要求则要调整作业方式；如果钻头磨损比较严重，则应该考虑修补或者更换。如果因为地层因素导致缩孔问题发生，则应该加大扫孔的频率，将孔径适当扩大，确保其与设计要求的相符^[4]。

5 结语

总而言之，在桩基施工过程中，旋挖钻机凭借其施工特点能够发挥出较大作用。不可否认，现阶段旋挖钻机的应用效果受到桩基施工中多方因素的影响。鉴于此，有必要围绕旋挖钻机在不同桩基施工中的应用特点进行分析，积极采取优化措施改善施工效果，为提高桩基施工工艺水平提供有力支持。

参考文献：

- [1] 蒋师. 旋挖钻机在桩基施工中的应用 [J]. 建筑工程技术与设计, 2016(16):1230.
- [2] 侯献云. 浅谈旋挖钻机在桩基施工中的应用 [J]. 山西建筑, 2006, 32(20):113-115.
- [3] 王虎. 浅谈旋挖钻机在桩基施工中的应用 [J]. 商品与质量 (建筑与发展), 2013(12):495.
- [4] 胥丽平. 旋挖钻机成孔技术在建筑工程桩基施工中的应用 [J]. 建筑工程技术与设计, 2017(19):1563.

作者简介：陈平 (1989.07-)，男，土家族，湖北恩施人，本科，工程师，研究方向：工程施工。

(上接第 27 页)

经验对测量目标与测量参数进行判断，难以满足更高的改装质量要求，也不符合智慧发展的思路。以数字化测量系统积累的试验机改装数据为基础，结合装配仿真技术，运用智能手段对关键目标进行识别，进而进行半自动 / 自动测量，实现在线容差分配，同时对关键结果进行判断，为人工决策提供辅助。

5 结语

本文针对数字化测量技术在试验机改装中的应用，从试验机改装对于数字化测量技术的需求出发，分析了各主要数字化测量技术在改装中的应用现状及前景。在此基础上，借鉴当前测量技术、制造技术、信息技术、控制技术的发展方向，对试验机改装中的数字化测量技术发展进行

了展望。

参考文献：

- [1] 范百兴. 高性能全站仪的研究及其在动态测量中的应用 [D]. 郑州：中国人民解放军信息工程大学, 2004.
- [2] 李雪娟, 林雪竹, 周娜, 等. 基于激光雷达、iGPS 的飞机水平测量技术研究 [J]. 航空制造技术, 2012(22):50-53.
- [3] 康海东, 范百兴, 李宗春, 等. iGPS 测量原理及其精度分析 [J]. 测绘通报, 2012(3):12-15.
- [4] 龚健雅, 季顺平. 从摄影测量到计算机视觉 [J]. 武汉大学学报 (信息科学版), 2017, 42(11):1518-1522+1615.
- [5] 郭静, 罗华, 张涛. 机器视觉与应用 [J]. 电子科技, 2014, 27(7):185-188.