

飞机部件外形三维数字摄影测量技术

3D Digital Photogrammetry for Aircraft Part

中国人民解放军驻西飞公司军事代表室 雷 宝 贺 韡 王永红



雷 宝

计算机应用专业,从事飞机大部件装配质量监督工作。现任中国人民解放军驻西飞公司军事代表室军代表。

现代飞机对轻质、经济、安全和长寿命的追求,对飞机制造、安装精度提出了更高的要求,其中飞机部件外形装配精度在很大程度上决定了飞机的最终质量。传统的飞机部件装配主要依靠工装和工艺补偿来保证零部件之间的协调,依靠模线模

现代飞机部件装配现场环境复杂多变,对测量设备的现场适应性、便携性提出了更高的要求,三维数字摄影测量技术作为一种高精度、非接触式测量的数字化测量手段,以其测量现场工作量小,快速、高效和不易受温度变化、振动等外界因素的干扰的优点而被航空航天企业接受。

板、光学仪器等装备检测外形准确度^[1]。这些方法精度差、效率低,已不能适应现代飞机发展的需求。国外先进飞机制造公司已经开始大规模将数字化测量系统引入飞机装配中,利用数字化测量系统高精度的测量、控制和分析系统,提升飞机装配精度^[2]。但现代飞机部件装配现场环境复杂多变,对测量设备的现场适应性、便携性提出了更高的要求,三维数字摄影测量技术作为一种高精度、非接触式测量的数字化测量手段,以其测量现场工作量小,快速、高效和不易受温度变化、振动等外界因素的干扰的优点而被航空航天企业接受。

三维数字摄影测量技术是建立

在数字成像、图像处理和精密测量原理基础上的新型精密测量技术^[3],其采用高性能数字成像器件作为传感元件,结合图像处理及模式识别技术实现对目标物体、被测点的自动识别、瞄准和角度测量,实现测量自动化消除测量过程中的人为误差,有效提高测量精度及测量效率。利用三维数字摄影测量技术对飞机部件进行快速、精确的现场测量,获取其准确的外形信息及空间姿态,并以测量数据为依据控制零部件质量水平,对飞机装配结果进行合理评估,保证飞机装配精度与整体结构的可靠性。

三维数字摄影测量系统概述

三维数字摄影测量又称数字近

景工业摄影测量,通过对被测物体在不同空间位置拍摄 2 张以上的照片,然后进行计算机图像匹配及相关数学公式转化计算,得到被测物体上显著测量点的三维空间坐标,获得被测物外形等相关信息。

摄影测量经历了从模拟、解析到数字方法的变革,硬件也从胶片像机发展到数字像机。近年,高分辨率、高信噪比的数字成像 CCD 器件发展迅速,加之计算机图像处理和模式识别技术的快速进步,使得数字摄影测量技术迅速实现了由理论到实际应用的跨越。国外有关三维数字摄影测量的研究、应用及商品化已很多,而且很成熟,如挪威 Metronor 公司的 Portable CMMs 系统(图 1(a))、德国 AICON 3D 公司的 DPA-Pro 系统(图 1(b))、美国 GSI 公司的 V-STARS 系统^[4]等。

三维数字摄影测量的基本原理是通过 1 台(或者多台)高分辨率的数字像机对被测物摄影,采用回光反射标志得到物体的准二值数字影像,经计算机图像处理后可以得到精确的 X、Y、Z 坐标。它是通过不同位置的相机对多个目标同时测量,从而可以解算出相机间的位置和姿态关系,以及目标点的三维坐标。设测量点 P_i 由 j 个摄站(j 条光线)相交,如图 2 所示,则共有 j 个共线方程,如公式(1),具体计算公式可参考文献^[5]。

$$\begin{cases} x_{ij} - x_{0j} + \Delta x_{ij} = -f_j \frac{a_{1j}(X_i - X_{Sj}) + b_{1j}(Y_i - Y_{Sj}) + c_{1j}(Z_i - Z_{Sj})}{a_{3j}(X_i - X_{Sj}) + b_{3j}(Y_i - Y_{Sj}) + c_{3j}(Z_i - Z_{Sj})} \\ y_{ij} - y_{0j} + \Delta y_{ij} = -f_j \frac{a_{2j}(X_i - X_{Sj}) + b_{2j}(Y_i - Y_{Sj}) + c_{2j}(Z_i - Z_{Sj})}{a_{3j}(X_i - X_{Sj}) + b_{3j}(Y_i - Y_{Sj}) + c_{3j}(Z_i - Z_{Sj})} \end{cases} \quad (1)$$

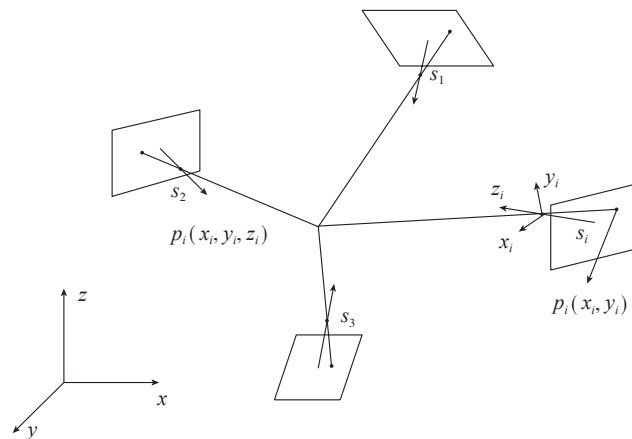


图2 摄影测量原理

根据最小二乘原理,将多个光线(束)的共线方程联立求解(光线束法平差)可以求得目标点的空间坐标(X, Y, Z)。

测量流程

飞机部件摄影测量是一个复杂而细致的过程,需要针对不同的被测物与测量环境制定不同的拍摄计划及选用适宜的摄影设备,本文将以 V-STARS 系统为例介绍飞机部件三维摄影测量的流程及方法。

V-STARS 系统是美国 GSI 公司研制的三维数字摄影测量系统,该系

统具有三维测量精度高(相对精度可达 $1/(1.2 \times 10^5)$ mm)、测量速度快和自动化程度高,能在恶劣环境中工作(如热真空)等优点,是目前国际上最成熟的商业化工业数字摄影测量产品。V-STARS 系统的组成及其附件如图 3 所示。

摄影测量整体过程可以概括为测量准备、布设标志、拍摄影像、数据处理等 4 个步骤,这 4 个步骤都是密切相关的,它涵盖了从制定总体摄影测量规划到最后得到完整飞机部件外形点云数据的全部流程,详细内容如图 4 所示。

(1) 测量准备。

当今飞机数字化装配技术体系中,数字化检测系统与设计的协同交互使整个装配系统形成连续的信息转化过程和良性的循环反馈,达到了高效的生产组织的目的。在飞机部件设计阶段,设计人员要充分考虑后续测量检测阶段的工艺需求,在部件数模上体现出适当的设计技术支持,例如照相测量点云处理中所需求的飞机坐标特征点等;相应的检测阶段也需及时将测量信息进行反馈,从而提高产品的设计质量,缩短产品的



(a) Portable CMMs 系统

(b) DPA-Pro 系统

图1 三维数字摄影测量系统



图3 V-STARS系统

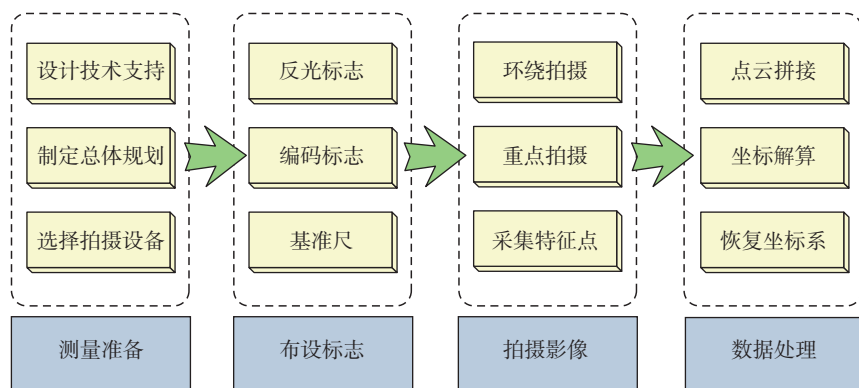


图4 照相测量详细流程

设计开发周期,降低产品的设计开发成本。

飞机部件结构复杂,部件种类繁多,且现场工作环境干扰较多,因此拍摄前需要制定详细的测量计划。计划一般包括:详细分析被拍摄部件的结构,为其划分拍摄带,完成对飞机部件拍摄流程的整体规划;实现对易测量区域与难测量区域的划分,并为特殊测量区域制定拍摄方案;考察拍摄工作环境,选用合适的测量设备,制定详细的外业测量计划。

(2) 布设人工标志。

在测量过程中主要用到2种人

工标志:圆形定向反光标志和编码标志。在一般的测量环境下,杂光光源的影响异常突出,而且飞机部件具有表面光洁、金属制、自身色调差别微小、缺乏纹理等特点。所以,需要在被测部件上粘贴圆形定向反光标志或采用激光投点器进行辅助拍摄。而编码标志则用于实现相片的拼接和计算自动化。

2种人工标志

的粘贴位置应综合考虑待测飞机部件的尺寸、外形、重点关注部位以及拍摄距离等因素,以实现客观、真实、全面且高效的反映被测部件外形或空间形态等信息。图5为V-STARS测量系统在波音公司737-700客机部件外形测量上的应用^[6]。

(3) 布设基准尺。

直接通过摄影测量获得的点云数据只包含测点之间的相对位置关系,并不具备尺寸信息,所以在拍摄过程中需要人工给定基准尺。V-STARS系统一般配备的基准尺长度在1~3m之间(图5),但飞机部件大小尺寸不一,当需要对机翼、机身、垂平尾等大尺寸部件进行测量时,如果一个基准尺作为尺度基准来约束整个飞机部件的尺度,而且又采用图像拼接来进行计算,这样会产生较大的误差传递,因此采用激光跟踪仪配合的方法给定基准尺。即在测量过程中,在待测部件周边布设3~6个激光跟踪仪靶座,以能完整包络整个待测量飞机部件为宜,配合激光跟踪仪采集每个靶座对应靶标点的相对空间坐标,获得靶标点之间的距离尺寸。在拍摄过程中使用V-STARS系统配套的工装标志点,对激光跟踪仪靶标点同时进行采集,软件实现点云的拼接对合后,将尺寸信息输入点云中的靶标点,即可完成尺寸标定。

(4) 拍摄影像。

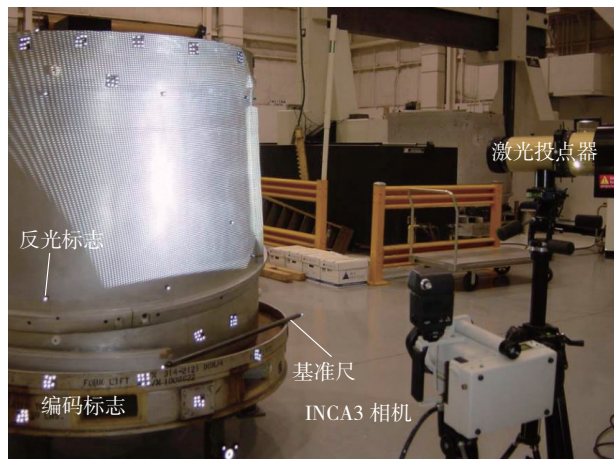


图5 V-STARS测量系统的现场应用

考虑相机镜头视场角、摄影距离、测量精度、测量场地等问题,针对飞机部件的摄影测量一般采用局部摄影、整体解算方法进行,整体解算以编码标志作为图像之间的公共连接点。整体测量方案是围绕飞机部件进行均匀拍摄测量,然后针对难拍摄部位与重点部位进行重复拍摄,实现对飞机部件全面的摄影。如图6所示。

在进行摄影测量时,V-STARS系统会建立一个工作坐标系,与飞机设计坐标系并不重合。为便于进行点云数据的后置处理,需要在完成测量点的三维坐标解算后,将该工作坐标系转换为飞机设计坐标系。因此,在拍摄准备时采用特殊反光标记对若干特征点(至少3个)进行标定,这些特征点在飞机设计坐标系中具有准确的三维坐标,且易于观测及拍摄。在拍摄阶段对这些标记了的特征点进行重点拍摄,为后续数据处理阶段坐标系转换工作做好准备。

(5) 数据处理。

由于像机镜头视场角和摄影距离的限制,每幅像片只能覆盖被测物的一部分(图7)。因此,各测站之间的位置关系需要利用编码标志进行传递。利用编码标志进行图像拼接的主要原理是把编码标志作为测量中具有已知坐标的控制点,由这些控制点的已知空间信息,通过后方交会原理得到每幅像片的外方位元素,从而完成对图像的拼接和测站之间坐



图7 拍摄单幅相片

标关系的传递^[7]。其计算步骤如下:

- 测量图像进行扫描,识别出每幅图像里的编码标志;
- 每幅图像里具有相同点号的编码标志进行匹配,利用编码标志的已知空间坐标通过后方交会把像片统一到摄影测量坐标系下,同时得到各图像的外方位元素;
- 根据图像已知的外方位元素,利用核线匹配原理对其它非编码标志点进行同名点匹配;
- 最后利用光束法平差统一进行解算计算所有标志点的坐标,获得飞机部件外形点云。

此时的测量点点云是建立在照相测量工作坐标系下,不具备尺寸信息的三维数据集合,需要通过标定点云基准长度赋予其尺寸信息,通过拍摄中采集的坐标系特征点完成向飞机设计坐标系的转换,最终获得飞机部件外形三维点云(图8),并可以此点云为基础,匹配飞机设计数模,实现部件外形准确度精准检测,空间位姿解算,装配质量评估等目的。

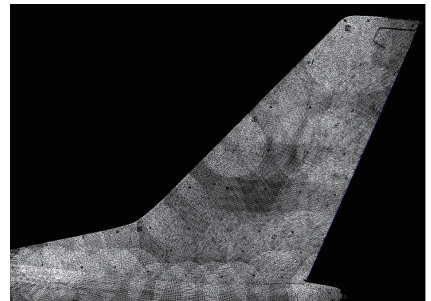


图8 经过V-STARS软件拼接计算的三维点云

结束语

本文分析了三维数字摄影测量技术在现代飞机部件外形数据获取应用中的优势,简要介绍了摄影测量的原理及国外公司的测量系统。并基于美国GSI公司的V-STARS三维数字摄影测量系统,以波音公司737-700的某飞机部件为实例阐述了摄影测量的应用流程,详细介绍了数字摄影测量技术在飞机部件外形测量中应注意问题及解决方法。实例证明,三维数字摄影测量技术作为一种高精度、非接触式测量的数字化测量手段,在飞机部件外形测量中获得了优异的结果。

参考文献

- [1] 范玉青. 现代飞机制造技术. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001.
- [2] 李泷果, 黄翔, 方伟, 等. 飞机装配中的数字化测量系统. 航空制造技术, 2010(23): 46-48.
- [3] 郝继贵, 叶声华. 工业现场近景数字摄影视觉精密测量. 地理空间信息, 2004, 2(6): 11-14.
- [4] 黄桂平, 钦桂勤. 大尺寸三坐标测量方法与系统. 宇航计测技术, 2007, 27(4): 15-19.
- [5] 黄桂平. 数字近景工业摄影测量关键技术研究与应用[D]. 天津: 天津大学, 2005.
- [6] 辰维科技. V-STARS系统在飞机制造中的测量应用[EB/OL]. 2012[2012-8-17]. <http://www.chenweikeji.cn/Web/News/NewsDetail.aspx?id=110&fid=38>.
- [7] 王保丰, 范生宏, 黄桂平, 等. 计算机视觉中基于多照片的同名点自动匹配. 测绘科学技术学报, 2006, 23(6): 451-453.

(责编 亦非)



图6 照相测量拍摄示意图