

室内空间测量定位系统在飞机制造装配中的应用*

Application of Workspace Measurement and Positioning System in Aircraft Manufacturing Assembly

天津大学精仪学院国家重点实验室 熊 芝
北航仪器科学与光电工程学院 杨凌辉
中航工业北京长城航空测控技术研究所 王希花 张 昆

[摘要] 在测量原理及系统架构的基础上,介绍了该系统在飞机制造装配中的应用,并结合航空制造装配中零组件数量多,尺寸各异、形状复杂的特点,提出将该系统作为全局控制网,配合终端精测的方法实现高效率、高精度、低成本的数字化精确装配。室内空间测量定位系统作为一种新型的数字化测量系统,在航空制造领域具有重要的应用前景。

关键词: 室内空间 测量定位系统 大尺度 装配全局控制

[ABSTRACT] With the development of digitization, automation and flexibility in aircraft manufacturing assembly, digitized measurement system becomes an important component in flexible assembly technology. Workspace Measurement and Positioning System (wMPS) is a novel network system which can realize precise measurement in large-scale space. It has the characteristics of high precision, wide range and multi-tasks. Based on the system principle and architecture, the application in aircraft assembly is introduced. In consideration of huge number of components, different sizes and complex shapes, utilizing wMPS as a global control network combined with terminal accurate measurement to achieve high efficiency, high precision and low-cost digital assembly is proposed. As a new type of digitized measurement system, wMPS will have a significant application prospect in aviation manufacturing.

Keywords: wMPS/indoor GPS Large-scale Assembly Global control

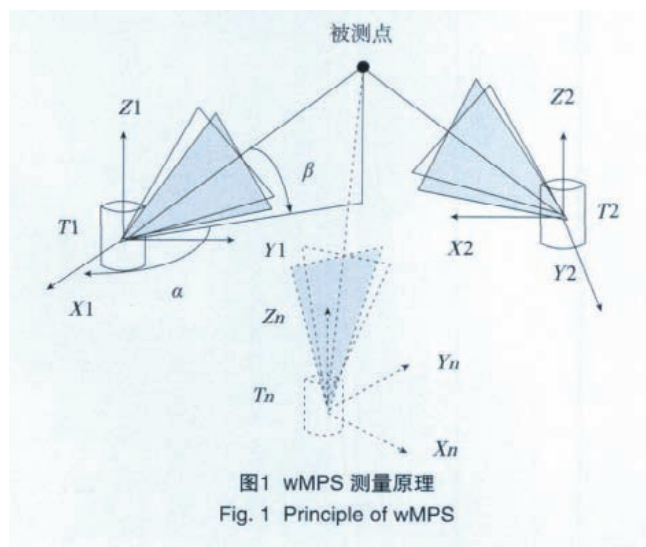
在传统的飞机制造过程中,大部件精确对接和装配通常要依靠固定装配型架和工人的技能,效率和精度都受到一定的限制。测量技术的快速发展,使得飞机装配

模式向着自动化、数字化、柔性化的方向发展,数字化测量已经成为飞机制造装配过程中最重要的手段^[1-2]。

激光跟踪测量技术为飞机大部件的自动化对接提供了强有力的支持,但是由于现场环境以及设备自身特性等原因,对接过程中部件的测量和监测存在困难,室内空间测量定位系统(workspace Measurement and Positioning System, wMPS/indoor GPS)的出现为大尺寸复杂结构的对接和装配提供了一种新的途径。此外,飞机制造装配中零组件数量多、形状复杂、尺寸大小不同,将wMPS作为全局控制网,结合终端精测,可以对不同目标特性进行高精度测量,是实现数字化精确装配的有效手段。

1 wMPS 测量原理

wMPS基本测量单元是角度测量。系统的计时零位以发射站固定部位的同步光脉冲发出时刻为基准,接收器将同步光和旋转光平面的光信号转化为电信号,通过高速计时电路以及信号筛选匹配流程计算出光平面从初始位置到扫过接收器的时间。如图1所示,通过测量每个发射站两个光平面的时间,可解算出被测点相对于局部坐标系 T_1 的水平角 α 和垂直角 β ,即单个发射站可实现被测点方位的测量。当空间中至少有两个发



* 国家自然科学基金重点项目(50735003);天津市科技支撑项目(08ZCGYGX11800);天津市应用基础及前沿技术研究计划(09JCZDJC26700)资助。

射站时,两条方位线即可定位被测点的位置,实现坐标测量。

要测量三维坐标还需要另外的信息^[3],即多个发射站之间的相互位置关系以及系统比例尺,这些信息通过wMPS现场标定来获得。标定采用内外参数一体化的光束平差方法,将离线状态下无法确定的某些内参数和外参数通过标定的过程统一获得。

2 wMPS 系统架构

wMPS作为一种新型的网络式测量系统具有以下5个显著优点:

(1) 测量速度快,发射站平均旋转速率在2000r/min左右,即30ms可完成一个旋转周期数据的采集。

(2) 测量范围广、精度高,测量网中通过增加发射站可实现测量量程的扩展,且不损失测量精度。

(3) 测量过程允许断光,发射站在工作中保持高速旋转的状态,因此测量过程允许断光,且不影响测量精度。

(4) 同时执行多个任务,wMPS的测量场是一个共享的资源场,在测量场中的接收器各自独立工作,互不影响。

(5) 1次标定重复多次使用,只要定向后的发射站位置不发生改变,该测量场即可重复多次使用。

为了充分发挥wMPS测量系统的先进性,设计了一种分布式的系统架构,将整个测量系统分为系统层和任务层两级结构。

系统层由发射站和主控制计算机组成。发射站作为系统的资源之一,具有自动更新内部参数的功能,多个发射站组成全局测量网络,经过现场定向即可形成一个高强度测量场。主控计算机存储发射站内外参数信息,并控制任务计算机的使用权。

任务层由接收器、前端信号处理机和任务计算机组成,置于测量场中任意位置的接受器,可以并行复用,多

个接收器可组成一个测量网,一个接收器也可同时位于多个测量网中,一台任务计算机对应一个测量网,任务计算机在建立测量网之前需向主控计算机请求发射站资源的使用权。体系结构如图2所示。

wMPS分布式的系统架构使得系统数据的管理更加规范,系统层和任务层的任务分工明确,体现了多任务并行的优势。主控计算机和任务计算机使用可视化组件技术和模块化程序编制,用户可对多个任务进行实时直观的监视。

3 wMPS 在飞机装配中的应用

随着数字化制造技术的普及,各种规格和精度的坐标测量设备(如激光跟踪仪、激光雷达等)已普遍用于工装制造、大部件检测及装配现场。在国内,激光跟踪仪作为最为普及的测量设备应用于飞机制造装配中的多个环节^[4],而对wMPS的应用仍处于探索阶段。本节以飞机大部件对接装配为例,介绍了wMPS在工装检测和部件对接中的应用,以及作为全局控制网辅助装配的实现方法。

3.1 工装检测

飞机装配型架由骨架、定位件、夹紧件及辅助设备部分组成,主要功能是保证进入装配的零件、组合件或段件在装配时定位准确,并具有一定的工艺刚度,以便进行连接。型架定位件安装的准确度对飞机装配精度起着重要的作用。由于型架尺寸大、结构复杂、定位件多,使用激光跟踪仪对其定检所需时间长、效率低,无法实现在每次使用前都对其进行检定,wMPS的出现使得这一过程变得可能。

工装设计过程中给定基准工具球点(Tooling Ball, TB)和光学工具球点(Optical Tooling Points, OTP)。其中TB是建立型架坐标系的控制点,OTP是确定装配工装定位件空间位置的控制点。利用wMPS进行工装检测的实现方法如下。

首先根据待测TB点和OTP点的分布设计wMPS测量场的布站格局,构建测量网,遵守的基本原则是保证待测点至少能同时接受到两个发射站的扫描光平面信息,即整个测量场能覆盖所有要求被测的点。其次在待测位置安装好接收器,通过对TB点的测量建立工装坐标系,然后检测OTP点,将测量的结果转化到工装坐标系下,检测其是否满足工装设计的要求。

wMPS用于工装检测的优点在于测量效率高,对于测量场中的任何一个待测对象,均可以同时进行测量;测量过程自动化,接收器固定后,无需人为干预即可完成测量任务;测量网一旦经过定向,只要发射站位置不发生变更,便可重复多次利用,无需每次使用前重新构

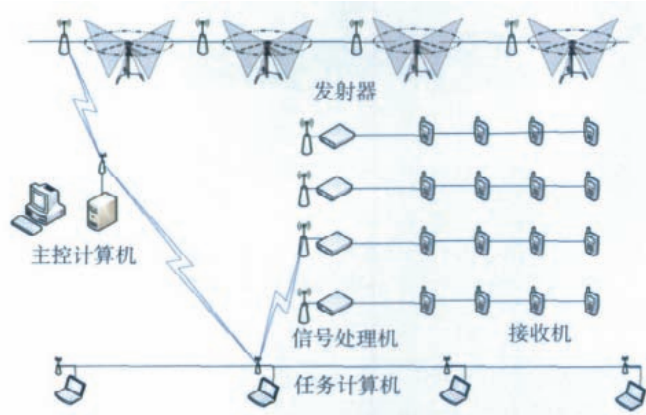


图2 wMPS结构
Fig. 2 Architecture of wMPS

建测量网；用于构建测量网的发射站和用于测量的接收器在测量网中可根据任务需要随时增加，因此大大缩短工装检测时间，提高工检效率。

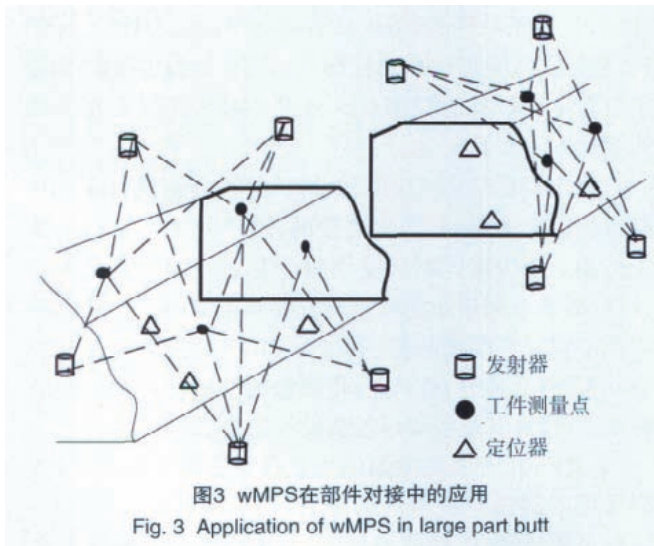
3.2 部件对接

飞机大部件对接装配中，测量系统首先建立装配坐标系与飞机全机坐标系之间的关系，使得所有的测量数据都能统一到一个坐标系下；其次测量系统采集数据，获取对接部件实际空间位姿，通过和飞机理论坐标系比较分析为伺服控制调整做准备，同时通过对定位器基准点和顶端连接处的测量点进行测量，获取部件在定位器上的相对位置；测量程序管理器将测量得到的实际值与理论值对比偏差发送给调整及终端执行机构进行部件的姿态调整，在调姿运动过程中，实时监测和测量部件上的测量点，及时修正运动轨迹，直到对接到位。

目前，飞机部件对接中常使用激光跟踪仪作为主要的测量实施设备，对激光跟踪仪有如下要求，具有较大的局限性^[5]：

- (1) 实时测量对接部件上的3个关键点时，需要至少3台激光跟踪仪进行测定；
- (2) 测量全过程不允许有断光、颤动、碰撞等；
- (3) 由于激光跟踪仪俯仰角测量范围所限(通常为 $\pm 45^\circ$)，在较高测量空间需要将其安装在型架平台上使被测点处于有效视野内，以保证测量精度。

图3所示为wMPS在飞机大部件对接装配应用中的示意图。建立wMPS测量场时要考虑飞机尺寸的大小、测量点的位置以及测量精度要求等。测量场的建立必须保证能覆盖所有被测点，为了保持测量精度，可以让每个被测点至少接受到4个发射站信号。



利用wMPS进行部件对接的基本流程为：

- (1) 根据测量区域、测量特征以及测量精度等要求

合理设计测量网络的布局；

(2) 系统定向，即确定发射站之间的相互位置关系，建立测量场；

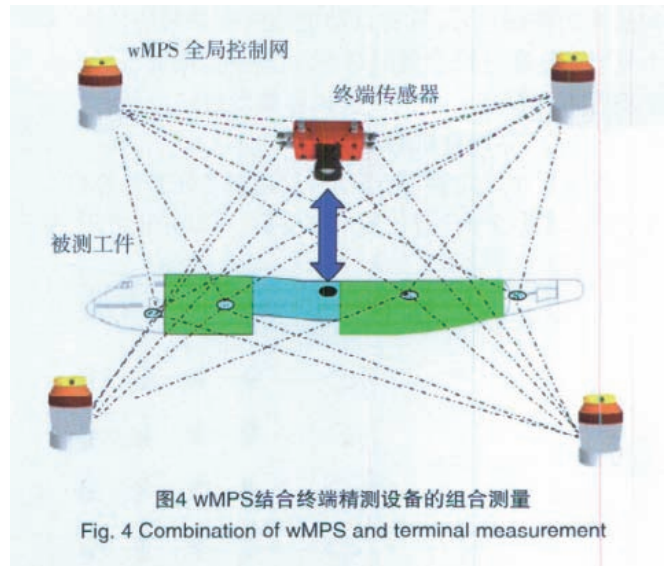
(3) 将接收器放置于工件被测点或工装上，实时跟踪测量；

(4) 测量程序对采集的数据进行分析，根据部件实时位姿和理论值差异进行部件位姿调整。

使用wMPS系统能对测量场中多个被测点同时进行跟踪且没有不能断光的限制。wMPS原理的先进性使得该系统在大尺度空间不仅可以同时执行多个任务，比如基准坐标系的建立、部件姿态的测量、定位器位置的检测等，而且在原理上协调了测量范围和精度的矛盾，省去了在传统测量系统中由于范围的扩大需要转站的过程，在保证测量精度的前提下大大提高了工作效率。因此，与其他测量仪器相比，wMPS在航空制造中具有更加突出的优势，其应用前景十分可观。

3.3 全局控制网

飞机制造装配的过程囊括了大部件的对接(如机身、机翼交点对接)以及零组件的装配(如骨架零件定位、蒙皮或壁板与机加长桁之间的定位)，由于零件形状各异、内部结构复杂、空间紧凑，常需要配合多种先进的测量技术和设备。针对在部件装配过程中，局部装配特征不易通视，精度要求较高的情况，可采用wMPS作为全局控制网进行部件整体定位或姿态调整，在装配终端采用局部精测(如高精度相机或位置传感器等)控制装配误差，保证装配精度。图4为wMPS结合终端精测传感器进行组合测量示意图。



wMPS的测量误差不会随着测量范围的增加而增加，是超大尺寸空间高精测量及定位的优选设备，且

(下转第91页)

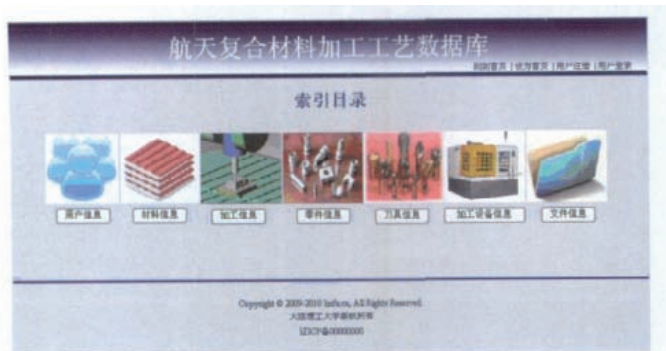


图10 系统索引界面

Fig.10 Index interface of system

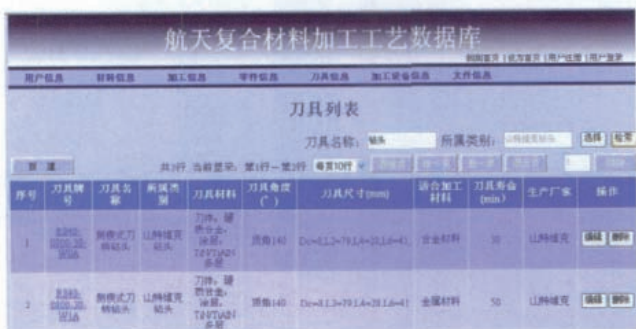


图11 刀具检索

Fig.11 Page of cutter retrieval



图12 工艺信息查看页面

Fig.12 Page of process information view

于用户进行检索。本系统的构建方法具有以下 2 方面的优点:

(1) 各具工艺相关实体都是支持用户自定义,适用性强;

(2) 本系统基于 B/S 架构进行构建,环境适应性强,便于维护与扩充。

参考文献

- [1] 胡宝刚, 杨志翔, 杨哲. 复合材料后加工技术的研究现状及发展趋势. 宇航材料工艺, 2000, 30(5): 24-35
- [2] 苏小萍. 碳纤维增强复合材料的应用现状. 高科技纤维与应用, 2004, 29(05): 34-36.
- [3] 汤佩钊. 复合材料及其应用技术. 重庆: 重庆大学出版社, 1998.
- [4] 张晓虎, 孟宇, 张炜. 碳纤维增强复合材料技术发展现状及

趋势. 纤维复合材料, 2004, (1): 53-58

[5] 顾思之. 纤维增强复合材料. 北京: 机械工业出版社, 1988.

[6] 杜善义, 沃丁柱, 章怡宁, 等. 复合材料及其结构的力学、设计、应用和评价. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2000.

(责编 良辰)

(上接第 62 页)

该系统可以绕着被测物进行 360° 空间测量无需转站, 从而降低或消除了转站带来的误差, 具有激光跟踪仪系统无法比拟的优势。wMPS 作为全局控制网, 测量空间不受限制, 适用性强, 可保证整体测量精度。

终端测量直接面对测量对象和测量特征, 能够高效灵活地实现被测特征的测量, 如微位移传感器、CCD 测量系统等在局部空间的高精度测量上具有很好的表现, 但是测量空间有限, 无法完成大尺度空间的精密测量。通过全局控制网, 即可将局部高精度测量的数据融合到全局坐标系下。

在飞机制造装配过程中, wMPS 作为全局控制网能够对大范围内的全局坐标系进行监测, 实时跟踪工件在全局坐标系下的精确坐标, 终端设备测量数据在 wMPS 系统的监测下融合到同一坐标系下, 用于控制局部装配误差。采用全局控制网和终端精测的组合式测量, 能够充分发挥各测量系统的优势, 实现高精度、高效率、低成本数字化精确装配。

4 结束语

在飞机制造技术迅猛发展的今天, 数字化测量辅助装配技术在飞机装配中的作用越来越显著, wMPS 作为一种新型的测量系统, 测量范围广、精度高、多任务并行, 可实现大尺度空间多目标的静态测量和动态跟踪。在飞机制造装配中, wMPS 克服了激光跟踪仪需要转站及不允许断光的局限性, 可用于型架工装的快速精确检定, 部件对接过程的姿态实时测量及调整, 作为全局控制网配合多种终端测量技术进行高精度装配等, 可大幅度提高现代飞机装配的质量和效率。

参考文献

- [1] 于勇, 陶剑, 范玉青. 大型飞机数字化设计制造技术应用综述. 航空制造技术, 2009(11): 56-60.
- [2] 孟俊涛, 王仲奇, 殷俊清. 飞机部件精准对接技术研究. 机械制造, 2008, 46(528): 42-44.
- [3] 劳达宝, 杨学友, 郑继贵, 等. 扫描平面激光空间定位系统测量网络的构建. 光电子·激光, 2011, 22(2): 261-265.
- [4] 黄宇. 激光跟踪仪在飞机数字化制造过程中的应用. 航空制造技术, 2011(6): 32-37.
- [5] 邹冀华, 周万勇, 邹方. 数字化测量系统在大部段对接装配中的应用. 航空制造技术, 2010(23): 52-55. (责编 良辰)