



大空间尺寸测量及大部件 运输、跟踪、定位技术

Measurement, Transportation, Tracing and Positioning Technology
for Huge-Size Part

北京航空精密机械研究所 吴晓峰 赵祉江 柳 权



吴晓峰

北京航空精密机械研究所副所长、研究员。研究方向：精密检测技术、数控技术。曾承担国防科工委、总装和集团公司的预研课题 10 余项。主要研究成果为计量型三坐标测量机。

大飞机装配国内外现状及 发展趋势

20 世纪 80 年代后期,波音和空客等飞机制造公司在飞机设计、制造过程中采用了数字化技术,它包括数

通过采用 iGPS、激光跟踪仪等先进精确测量、定位技术、自动调整与控制技术,可在较高的技术起点上提高我国飞机装配技术水平,缩小与国外先进水平的差距,提升我国大飞机的柔性装配制造水平。

字化的产品定义、数字化模拟预装配、产品数据管理、并行工程和数字化制造技术,改变了传统的设计制造过程,大幅度提高了飞机设计制造技术水平。随着该技术的发展,先进的飞机柔性装配技术也迅速发展起来^[1]。

1 国内飞机装配现状

我国的飞机装配技术和组织管理方式,虽然在局部上采用了较先进的技术,如利用激光跟踪仪或计算机辅助经纬仪安装型架,少数采用了自动钻铆技术,简化了装配型架结构,但与发达国家相比还存在较大差距,主要表现在:

(1) 先进技术应用不成熟,目前飞机装配还是沿着着过去小批量生产的手工作业模式。

(2) 飞机设计制造仍主要采用串行模式,制造模式未实现根本转变。

(3) 数字化技术的应用规模有限。

(4) 在装配技术方面,虽然局部采用了数字化技术,如在协调方式上局部采用了数字量传递方法,但模拟量传递仍然存在。

(5) 采用专用工装装配,光学仪器测量安装仍是目前飞机装配的主要手段,数字化装配技术应用水平较低,激光跟踪仪应用目前只停留在型架安装阶段。

2 国外公司情况

目前,在国外,数字化技术已经应用到多种飞机的研制过程中,并取得了很好的效益,在飞机装配技术方面采取了以下技术措施:

(1) 设计制造并重, 产品设计与装配设计紧密结合, 实施并行工程。

(2) 全面采用数字化设计制造技术, 大范围进行数字装配过程仿真模拟。

(3) 建立单一产品数据源, 实现工程 BOM、制造 BOM 以及维护 BOM 的有效转换, 保证数据传递过程中的一致性。

(4) 普遍采用数控自动钻铆技术, 大幅度提高了铆接质量和进度。

(5) 采用计算机辅助光学仪器进行飞机定位测量和直接安装技术。

(6) 大幅度简化工装, 采用统一结构的动态工夹具的设计和使用技术, 甚至不用专门型架, 便可直接进行飞机装配安装工作。

(7) 利用先进的装配互换协调技术, 尽量减少在装配过程中使用连接件。

3 飞机装配发展趋势

在航空制造领域, 国外公司大量采用先进的测量与定位技术、数控技术与气垫运输技术, 使飞机装配工作效率和质量提高到很高的水平, 已从传统专用的固定工装发展到适用多机种、批量装配、高效先进的柔性装配阶段。

发展大空间尺寸测量及大部件运输、跟踪、定位技术是解决飞机总装工艺、装配方案问题的基础。其中, 大空间尺寸测量及大部件跟踪、定位技术需要使用 iGPS 测量技术和激光跟踪仪技术, 而大部件运输则依靠气垫运输技术。

飞机的总装配工作, 相对于零、组件生产和部件装配来讲是个单行线路, 机械化程度低, 手工劳动强度大。其工作量占单机生产总工时的 20% 左右, 装配、试验、调试工作的好坏, 直接影响到飞机的性能。因此, 在各机型研制生产中, 总装工艺工作应引起高度重视。

总装工作, 一般包括个系统的成品件、附件、导管、电缆等的安装、调

试、气密及功能试验、大部件对接等, 其特点是技术难度大、协调关系复杂, 特别是大部件对接技术(如机身中段与机身后段对接、机身中段与中央翼对接等)是急需攻关的项目。

iGPS 测量系统及激光跟踪测量技术

1 iGPS 测量技术

1.1 技术介绍

在工业测量领域, 根据 GPS 全球定位系统的原理, 开发出了基于区域 GPS 技术的三维测量技术, 即 iGPS (Indoor GPS) 系统。它是一种具有高精度、高可靠性和高效率的测量系统, 主要用于解决大尺寸空间的测量与定位问题。

iGPS 对大尺寸的精密测量提供了一种新的方法。过去, 对飞机整机、船身、火车车身和装甲车身等大尺寸结构的精密测量是非常困难的。现在, 采用 iGPS 就能很方便地解决这一难题。另外, iGPS 系统能够建立一个大的空间坐标系, 所有的测量任务, 如坐标测量、跟踪测量、准直定位、监视装配等都能够在这个坐标系下完成。目前, iGPS 系统的技术指标如表 1 所示。

表1 iGPS系统的技术指标

测量范围 /m	2 ~ 80
激光波长 /nm	785
单次测量角精度 / (")	< 20
覆盖空间 / (°)	水平 290, 垂直 30
操作温度 /℃	-10 ~ 50
空间测量精度 /mm	在 10 m 工作区域内, 测量精度为 0.12 在 39 m 工作区域内, 测量精度为 0.25

在测量精度方面, 该系统的最大优点是, 其测量误差达到一定值后就不再随着测量范围的增大而增大, iGPS 系统的全域测量精度要优于激光跟踪测量仪, 可允许多名技术人员手持传感器独立而并行地进行测量。iGPS 亦可和其他先进的装配系统共

同使用。通过实时测量, 数据可传送至柔性装配系统。

美国波音飞机制造公司从 1998 年开始研究 iGPS 测量技术, 该系统已应用于从 747 到 F/A18 飞机整机的装配线中。

1.2 iGPS 系统构成

iGPS 系统主要由以下部分组成:

发射器: 标准的 iGPS 系统含有 4 个计量型发射器, 用于高精度的计量应用。

传感器(3D 智能靶镜): iGPS 系统支持各种不同结构的传感器, 同时与 3 个发射器在线通信, 这些传感器将自动串行地把精确的 3D 坐标值传送给用户。

手持探头: iGPS 系统在工作区域内可以同时支持无数量限制的传感器。

系统软件: 每套 iGPS 系统都配有基于位置的服务器和手持式无线客户软件, 包括计量软件包。

接收器电路: iGPS 系统要求每个传感器连接到一个放大器和信号处理接收器电路板上。

1.3 iGPS 工作原理

发射器产生 2 个激光平面在工作区域旋转。每个发射器有特定的旋转频率, 大约为每分钟 3000 转左右。根据接收器所能接收到的激光, 它能够对水平角及垂直角进行测量。通过几个不同发射器的结合, 可以计算测量点的空间位置。测量一个点所需要的最少发射器数量是 2 个, 发射器越多测量越精确。

iGPS 系统能够以水平和垂直的角度连续不断地从发射器到接收器进行测量。其中, 发射器能够生成 3 种信号: 两路围绕发射器头的红外激光扇形光束和一路红外 LED 的波

束。这些光信号能够利用光电检测器而转化成定时脉冲信号。发射器头的旋转速度可以单独设置,并允许有差别。此外,发射器的速度被连续跟踪,以便把定时区间转化成角度。

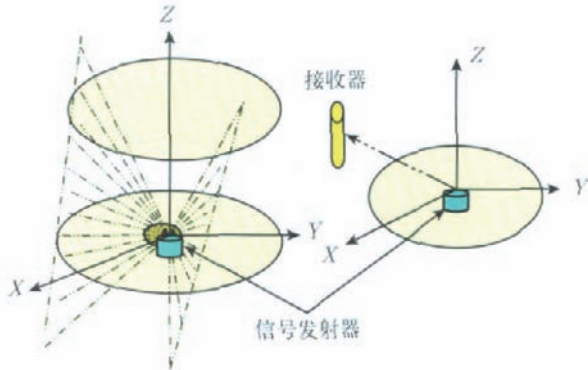


图1 iGPS工作原理图

如图1所示,两个从旋转的发射器头发出的扇束在垂直方向上为 $\pm 30^\circ$ 。为了测量垂直角度,只需要在两路激光脉冲之间定时即可。

iGPS在完成设置后可以自动建立坐标系统。原点位于第一个发射器的中心,X轴指向第二个发射器。整个系统通过比例尺或者矢量测量棒进行标定。

2 激光跟踪仪技术

激光跟踪仪是以激光干涉仪、绝对测距仪为测距手段,以绕两个轴转动的角度编码器为测角手段的移动式坐标测量机。激光跟踪仪系统包括反射镜、角度编码器、电机、位置探测器、分光镜、干涉镜、绝对距离探测器等部分,可以轻松实现目标的静态坐标测量和动态轨迹跟踪,是一种高

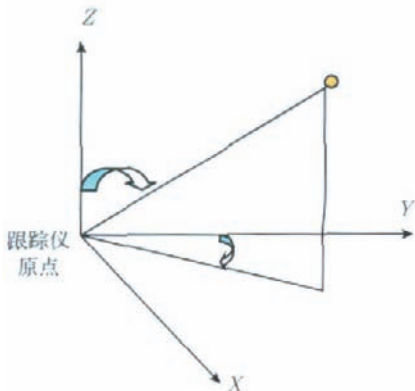


图2 激光跟踪仪的测量坐标系

精度、高分辨率、大范围、智能化动态测量仪器。

在直角坐标系、圆柱坐标系及球坐标系中唯有球坐标系是只要求一个长度量和两个角度量的,而激光跟踪仪正是基于球坐标系的坐标测量机,如图2所示。

其工作原理是由双频激光干涉仪发出测量光束经分光镜入射到二维旋转的平面反射镜上,由平面镜反射出的平行光束打到角隅棱镜的中心位置后被反射回到分光镜,返回的光束照射到二维位置灵敏检测器件(PSD)上。当发射光束的中心位于角隅棱镜的中心位置时,返回光束的中心必位于PSD坐标的中心位置,此时,跟踪仪的机械系统处于静止状态。当棱镜移动时,返回光束的中心位置将偏离PSD的中心,PSD将偏离其中心的几何量转换为电信号,该电信号经计算机处理后驱动平面镜水平与垂直旋转,直到发出的光束再次跟踪入射到棱镜的中心,同时返回的光束也重新回到PSD的中心。平面镜的旋转由伺服电机驱动,其水平与垂直旋转的角度值由位于平面镜水平与垂直轴向上的角度光栅给出;并由计算机记录,从而完成扫描跟踪测量。因此激光跟踪仪适合于坐标轨迹的跟踪测量,也适合于曲面轮廓的描绘,在大尺寸、高精度的空间坐标测量项目中有着广泛的应用。

气垫运输自动控制及定位技术

气垫运输装置是一种结构紧凑、使用灵活方便的搬运装置,适用于不能承受震动、对平稳性要求很高的精密设备的搬运和位置调整,以及不能安装起吊设备场合下的搬运。

1 系统组成与工作原理

气垫搬运装置包括气垫搬运装置本身及该装置的工作环境,气垫运输系统由气垫、气源气路、转向机构、驱动机构、比例控制、无线控制等组成。

气垫装置由控制器、支承块、气囊等组成。工作环境是指比较光滑的工作路面。此外,进行气垫装置工作时需要压缩空气,这可利用工厂内部的压缩空气系统,也可以使用单独的空气压缩机。

气垫工作原理:气垫导入压缩空气时,气囊首先膨胀,在地面与气囊间形成密封,继续加入压缩空气时,空气被迫从气囊胆上的排气孔溢出,溢出空气对地面的压力导致气囊带着承载模块升离地面,浮在一层气膜(气垫)上,负载即处于浮起模式,就可以被移动了。

因气膜摩擦阻力很小,所以能用很小的推力使重物向任何方向推进、旋转、定位。

气垫包围的气箱与地面之间的空气隙极薄,因此,地面的表面质量对于气垫运输设备的使用是非常重要的。一方面,地面的表面质量直接影响到空气消耗量;另一方面,地面的表面质量对于托举室内究竟能否形成超高压有着决定性的影响。

2 关键技术与技术指标

关键技术:合理的模块化设计;气浮系统控制器的匹配设计;气垫气囊的优化结构设计;通气回路及保压节流自动控制;多组同步控制技术。

技术指标:负载能力:100t;360°原地回转,万向旋转;驱动力与载荷的比例为:1:500~1000;模块化气垫装置定位精度: $\pm 30\text{mm}$;具有根据地面状况进行气垫气压自动调节的能力;气垫抬升高度:不大于50mm。

3 气垫运输自动定位与控制技术

气垫运输系统:配备气垫系统和位置调整机构,通过数据处理中心获

得大部件位置参数和移动指令,完成大部件的搬运工作;采用先进的控制技术与测量技术,通过位置调整机构精确定位以完成大部件对接,提高了飞机的装配效率。这些位置调整机构的水平移动、位置旋转等移动均由气垫运输系统实现。

运动控制系统:配合标准总线上挂接的多个伺服驱动器完成对多个点位的位置控制;同时,标准总线上还挂接有一些现场总线接口。

4 柔性工装及调节技术

柔性工装基于产品数字化模型,依靠数字化控制系统来完成对产品装配的定位、夹紧等操作。在波音和空客等公司中,已广泛使用了柔性工装。

柔性装配工装技术可减少飞机装配成本,缩短装配准备周期、提高生产效率。

自动、半自动制孔设备,自动铆接机,设备运动、多轴调整工装,是飞机柔性装配技术的执行机构,与iGPS、激光跟踪仪测量系统、气垫运输系统组成完整的柔性装配系统。

自动调整与定位设备应具备X、Y、Z 3个直线轴及3个旋转轴6个自由度,通过自身运动控制系统与测量系统组合,实现大部件对接所需的运动姿态。

应用方案介绍

1 方案概述

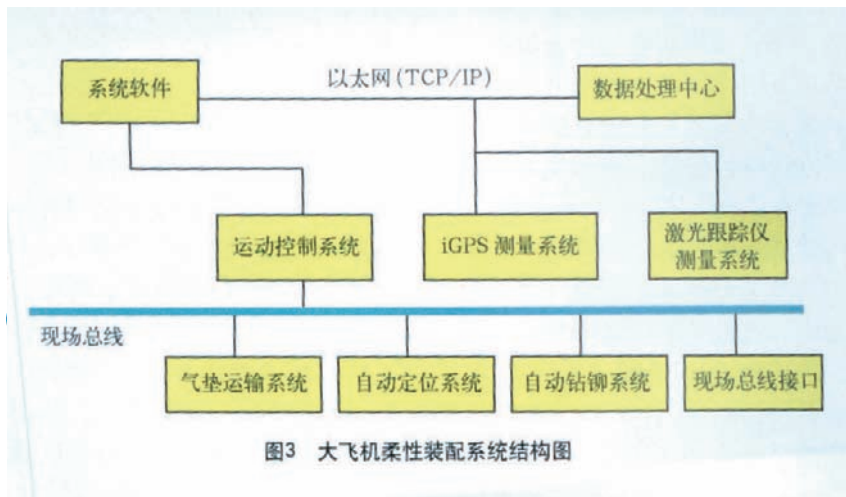


图3 大飞机柔性装配系统结构图

将飞机装配由传统的型架改为多维运动的装配单元,采用先进的控制技术与测量技术,通过装配单元的群控,精确定位,实现飞机的柔性装配,提高飞机的装配效率。

应用上述技术,可建立起大飞机柔性装配生产线,主要包括以下几个部分:

- 测量范围:长80m,宽60m,高18m(空间可以二次扩展);
- 内部结构:装配工作区、数据处理中心;
- 装配工作区:区域设置iGPS发射器,构建iGPS测量系统工作区;配备激光跟踪仪,可联合iGPS测量系统协同工作;
- 数据处理中心:配备服务器,组建局域网。数据处理中心主要实施计算,并通过局域网连接工作区计算机、iGPS测量系统和激光跟踪仪系统,完成实时数据接收和处理工作。系统的人机界面,可以实时地显示和设定一些现场的工作参数,如图3所示;
- iGPS测量系统:配备10枚发射器和30枚传感器,开发测量及评价系统软件,构建iGPS测量系统;
- 激光跟踪仪:配备4台激光跟踪仪,主要针对大部件尺寸的检测和

机身对接工作面的测量;同时,在机翼与发动机对接以及发动机水平测

表2 子系统精度指标

子系统	应用技术	精度/mm
主测量系统	iGPS 测量系统	0.25
子测量系统	激光跟踪仪	±0.05
运输系统	气垫运输技术	±30

量等需要高精度的小范围总装阶段,采用激光跟踪仪系统进行测量;

- 气垫运输系统:提高飞机的装配效率;
- 运动控制系统:配合标准总线上挂接的多个伺服驱动器完成对多个点位的位置控制;同时,标准总线上还挂接有一些现场总线接口;
- 子系统精度如表2所示。

2 方案说明

iGPS系统通过监测安装在机身和机翼上的大约25枚传感器,精确测定各个测量点位置数据,通过测量及评价软件对大型运输机的总装进行整体评价。

建立起iGPS的坐标系统的原点位于第一个发射器的中心。可根据需要转移到工装或飞机上,对于发射器的布置应遵循的主要原则是发射器之间的最小距离及最佳测量区域的设置,测量点或接受器不应和发射器成一直线。

结束语

通过采用iGPS、激光跟踪仪等先进精确测量、定位技术、自动调整与控制技术,可在较高的技术起点上提高我国飞机装配技术水平,缩小与国外先进水平的差距,提升我国大飞机的柔性装配制造水平。

参考文献

- [1] 李薇.数字化技术在飞机装配中的应用研究.航空制造技术,2004(8):24-29.

(责编 金卯)