

C919前机身部件数字化自动定位技术应用研究

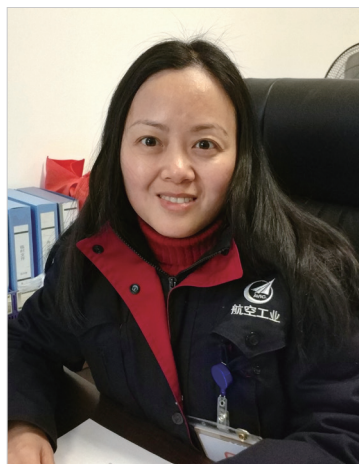
汪 静,黎 明,王晓宇

(航空工业江西洪都商用飞机股份有限公司,南昌 330096)

[摘要] 飞机部件对接采用传统专用刚性型架,其成本高,精度和效率低。大型客机机身部件尺寸大、精度要求高,采用数字化自动定位技术能够完成飞机部件的精确定位,可大幅提高飞机部件装配质量和效率,减少制造成本。介绍了数字化自动定位技术的实施过程,并详细阐述了C919前机身部件数字化自动定位技术应用过程,对国内飞机大部件数字化自动对接装配具有重要参考和借鉴意义。

关键词:飞机部件;数字化;自动定位;装配;调姿分析

DOI: 10.16080/j.issn1671-833x.2018.05.060



汪 静

工学硕士、高级工程师,江西洪都商用飞机股份有限公司技术部副部长,研究方向为飞机数字化装配制造、工装设计制造等。长期从事C919数字化生产线装配研究的技术及管理工作,获得航空工业科学技术一等奖1项,主持科研项目10余项。

飞机机身部件装配是根据尺寸协调原则,将框、长桁、蒙皮、隔板及各类角片按结构设计进行组合、连接

的过程^[1]。该过程主要包括骨架装配、部件总装、外形检查等。机身部件装配精度直接影响后续大部件对接的装配质量,是保证飞机产品装配精度的重要环节^[2]。

当前国内航空工业在机身部件装配中,仍主要采用传统的装配模式,工艺设计仍沿袭“设计-制造-评价”和“实物验证”这一传统的模式^[3],因而难以避免在实际装配过程中出现大量的工艺问题。装配工装仍采用“专架专用”的刚性工装,其数字化、自动化程度低,缺乏对机身产品变化的快速响应能力^[4],导致飞机制造成本高、生产准备周期长、企业生产效益低^[5]。部件装配过程的测量和检验仍采用常规仪器和模拟量形式,其测量准确度和检验精度差、效率低^[6]。随着国内飞机制造业的快速发展,传统机身部件装配模式的弊端愈加突出,已难以满足新一代飞机的研制生产要求,需应用数字化技术来提高机身部件的装配技术水

平。

近十余年来,国外飞机装配技术发展迅速,以波音777、空客A380、F-22和F-35等为代表的新型军民机大量采用了先进的装配制造技术(如自动定位系统、自动调姿,自动制孔、数字化检测技术等),并集成为数字化自动定位装配系统进行飞机部件的装配,极大提高了飞机装配的效率和质量^[7]。

数字化自动定位技术,具有自动化、数字化、定位精度高、可自动控制 and 通用性强等特点,可借助数字化测量设备或系统对飞机部件进行空间测量,完成大部件的精确定位,能够大幅提高飞机装配质量、缩短装配周期、节省装配费用^[8-9]。

根据C919大型客机研制过程中的总体技术要求和工艺总方案要求,C919前机身和中后机身大部件装配生产线参照国际标准,建设了一条具有国际先进水平的数字化装配生产线。通过学习和应用国外先进部件

数字化自动装配技术及工艺方法,同时结合 C919 大型客机的研制实践,大幅提高了我国大型飞机数字化制造装配技术水平。

数字化自动定位技术介绍

1 数字化自动定位技术基本原理

数字化自动定位技术主要采用由计算机控制的数控定位器、激光跟踪定位系统和控制系统组成的柔性对接平台来实现,主要涉及数字化协调技术、激光跟踪测量技术、多轴协同运动技术、数控定位技术、集成控制技术等关键技术^[10]。其基本原理是通过集成控制系统实时控制部件的定位过程,满足姿态的实时分析与调整;采用数字化测量系统(激光跟踪仪)作为待对接部件的测量与实时反馈装置对待对接部件位置进行精确测量与实时反馈;最后通过集成控制系统控制数控定位器逐步将部件移动到预定的对接位置,实现部件的数字化精确调姿定位^[11]。

2 数字化自动定位技术实施的一般流程

数字化自动定位技术涉及的主要问题有:采用何种形式进行部件的运输和装载;如何实现部件的数字化测量和实时反馈;如何进行部件的调姿分析;如何设计部件调姿运动路径;如何实现部件的调姿运动。数字化自动定位技术的实施也是基于上述 5 个主要问题进行的,可按如下步骤实施。

(1) 部件的总装前测量。

为保证对接部件总装定位调姿顺利进行,在待对接部件总装定位前需全面了解各部件产品的真实状况,分析产品出现偏差的各类原因,预判产品偏差可能对总装定位带来的影响以及对应的解决方法。

(2) 部件的运输和装载。

传统的部件运输采用专用的运输车辆或行车进行吊运,效率较低、有一定的安全风险、操作较复杂^[12]。

在数字化柔性装配生产线中,需保证物流的快速响应能力,这是其中一个重要的环节。目前自动引导小车(AGV)已被越来越广泛地用于飞机部件的运输。AGV 小车无行程限制,可以准确地按照规定的路径行走,且停靠精度较高^[13]。

(3) 部件的数字化测量与实时反馈。

为满足对部件姿态的实时分析,需对部件上的测量点实时位置进行测量和反馈。激光跟踪仪因其先进的性能,已广泛应用于飞机的数字化柔性装配中^[14]。

(4) 部件的调姿分析。

根据激光测量系统实时反馈的待对接部件测量点的位置,通过与理论位置进行比较,分析产生偏差的可能原因,这将作为后续部件调姿参数设置以及部件运动轨迹规划的主要参考依据。

(5) 部件的运动路径设计。

为使待对接部件实现调姿,到达预定位置,需对部件运动路径进行规划和设计,应根据实际情况和测量偏差结果分析得出的原因逐步分多次进行调节,保证部件在运动过程中不出现干涉碰撞等情况,确保部件顺利完成调姿定位。

在上述步骤完成后即完成了部件的数字化自动定位,接下来可进行部件的装配对接。

数字化自动定位技术的应用

C919 前机身产品结构尺寸大、产品外形精度要求高。蒙皮外形公差为 $\pm 0.5\text{mm}$,端框轴线距离公差为 $\pm 0.5\text{mm}$ 。另外,一些关键位置的加工精度超过传统工装的极限,如机身水平测量点制造精度为 $\phi 0.5\text{mm}$,舱门铰链同轴度和对称度为 $\phi 0.1\text{mm}$,客舱地板网格沿垂直方向定位精度为 $\pm 0.2\text{mm}$ 等。部件总装定位系统(APS)具有定位精度高、装配质量稳定等特点,能完全满足 C919 前机身

的部件装配要求,相比使用传统工装,能大幅提高装配效率和精度。

1 C919前机身总装定位系统介绍

C919 前机身总装定位系统的主要组成部分为:机械执行运动系统、控制系统、人机操作界面、激光测量系统以及系统软件,如图 1 所示。

1.1 机械执行运动系统

机械执行运动系统主要是执行由多轴控制系统发出的运动指令,通过伺服电机带动丝杠执行线性运动,以及由多个定位器的运动组合来执行平移、旋转等动作。

总装自动定位系统中机械执行运动系统共有 8 个定位器立柱对称分布组成。4 个上部立柱(PU1、PU2、PU3、PU4)和 4 个下部立柱(PL1、PL2、PL3、PL4),分别实现客舱地板网格和上、下半部的运动执行,其分布如图 2 所示。该种立柱形式属于柔性对接平台中的混联结构的自动定位器形式,即定位器不直接与部件相连,采用托架与部件相连,通过驱动托架对机体部件进行位姿调整。其优点是部件调整受力条件更好、调整更灵活、对产品设计更有利、更适合于大型结构和复合材料部件等^[15]。

1.2 控制系统和人机界面

控制系统主要是在机身部件定位过程中,同时移动多个定位器,并确保运动的同步。C919 前机身总装定位系统使用了比较成熟的西门子 SIMOTION 控制系统,允许进行逻辑编程,可将运动控制(同步控制、定位)以及工艺控制(接口感应器、气压、锁紧销子的控制、激光跟踪仪的电源、站位信号等)进行集成。

人机操作界面(GUI 界面)主要是通过软件将整个过程流程化,最大化地将复杂的操作流程简易化。这样一来大大地降低了操作人员的工作量,并且能够快速地了解产品状态以及所需的位置调整。通过 GUI 界面可以实现自动测量、自动定位、手

动操作定位、手工测量、问题诊断、报警记录、质量记录报告等相关内容。

1.3 激光测量系统

激光测量系统主要是获取产品上靶点位置,生成或更新基准系统,并获得产品工件的当前位置数据。前机身总装定位系统设置了两套激光测量系统。

1.4 系统软件

The Torres Positioning System(TPS) 软件是一套集成了测量系统模块、路径计算模块和定位元件控制模块的综合性应用软件。它可以实现:自动获取任何尺寸和形状工件的空间定位测量数据;自动计算产品运动轨迹继而将计算结果和控制信号发到运动控制系统,通过对各个电机发出同步或不同步运动指令,自动调整定位器带动产品沿轨迹运动到达最终位置。在整个运动过程中,应力不会出现,从而避免了产品变形。

2 定位工艺流程设计

C919 前机身部件总装主要是完成前机身上下半部对接成桶段,参与前机身部件总装的 3 个部件分别是上、下半部及客舱地板网格。技术要求为:客舱地板网格作为全机的对接基准,沿 Y 轴方向公差要求为 $\pm 0.2\text{mm}$;上下半部对接后外形公差 $\pm 0.5\text{mm}$;前机身第 36 框为基准框。地板网格仅与下半部有装配关系,不与上半部装配。因此 3 个部件的定位流程为:首先定位客舱地板网格;然后以客舱地板为基准,定位下半部;最后完成地板网格与下半部装配,以地板网格和下半部的组合件定位上半部。

3 C919前机身自动定位总装过程

根据设定的工艺流程和数字化自动定位技术的实施步骤,制定了 C919 前机身部件总装定位详细实施过程,图 3 为前机身总装过程流程图。

(1) 部件总装前的测量分析。

在部件总装前需对前机身 3 个

待对接部件进行总装前测量。测量分析的重点包括:客舱地板网格 8 个测量基准点的状况;上下半部壁板与外形卡板的间隙;蒙皮前后两端面的平行度;下半部两端关键孔(K 孔)的位置情况、长桁的位置情况等。

当前机身对接部件产品在上述位置偏差处于允许的范围时方可进行部件总装。

(2) 前机身下半部运输与装载。

整个 C919 前机身部件总装过程是从前机身的下半部进入站位开始。

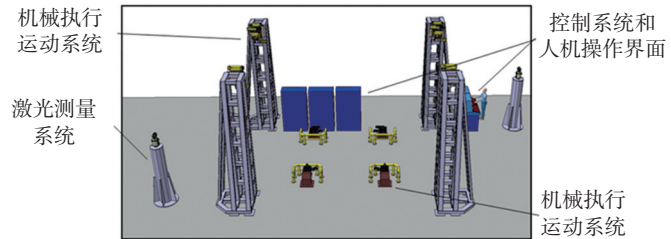


图1 总装定位系统 (APS) 总体示意图

Fig.1 Diagram of automatic positioning system

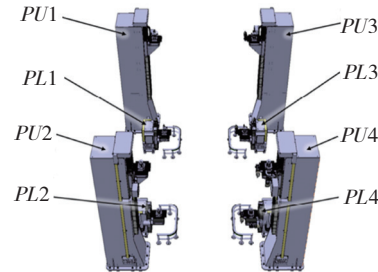


图2 定位器立柱分布图

Fig.2 Scattergram of positioning units

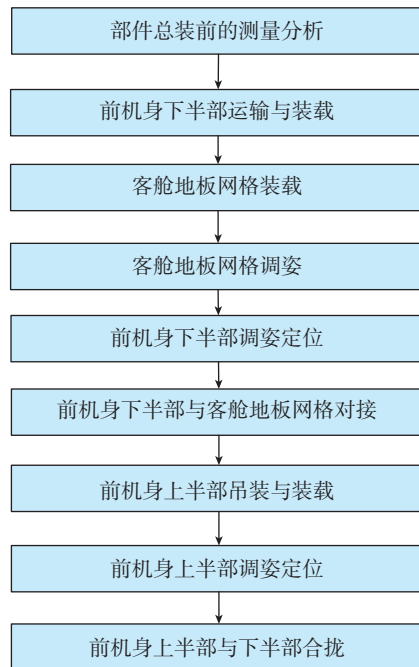


图3 C919前机身自动定位总装过程

Fig.3 Process of digital automatic locating technology for forward fuselage of C919

前机身总装定位系统开启后,将系统的中下部4个定位器设置到预定位置,前机身下半部通过AGV小车载送至APS系统站位中,微调下半部与定位器相对位置,将前机身下半部装载到APS定位器上,如图4所示。

(3) 客舱地板网格装载。

调整APS系统上部4个定位器至最高位置,通过厂房行车和客舱地板网格保型架,将客舱地板网格装载至APS系统的上部定位器上,如图5所示。

(4) 客舱地板网格调姿。

在前机身下半部和客舱地板网格进入站位后,以客舱地板网格的8个光学测量点(OTP)为基准测量点,分别是前机身25框处4根地板滑轨孔和35框处4根地板滑轨孔。图6所示为8个OTP点,选择这8个光学测量点的依据是:客舱地板网格本身定位精度高,是全机的基准,因此测量点首先应在地板网格上选取;选取的测量点要包络整个地板网格,否则无法准确定位地板网格,选取的

测量点符合此要求;3个测量点可确定地板网格平面,一般选取的测量点数量越多,越能精确反映地板网格空间位置,根据工程经验,这8个测量点足以满足地板网格的测量需求。

激光跟踪仪测量完8个基准点后,系统会出具数据测量报告(图7(a)),红色区域表示的是客舱地板当前状态和理论状态的偏差。该组数据表明在调姿调整前客舱地板各方向与理论位置偏差较大。

在接收到测量数据后,系统内核通过BEST FIT算法循环计算多次直到将平均误差降到最低,自动生成一个理论运动路径,按照该路径将产品拟合移动到系统计算出来的最优

位置,技术人员需根据实际情况判断该理论路径是否可行,并根据偏差产生的原因进行多次调节逐步逼近理论位置。当到达预定位置后,系统将再次测量8个基准点,得出分析报告(图7(b))。该数据表明和调姿拟合前相比,误差已明显降低。

为了确保客舱地板网格的位置状态是最优状态,需要重复测量移动数次以确保拟合已经达到最佳位置。当系统所计算的位置已经无法再优化时,系统将产生最终数据测量报告。

(5) 前机身下半部调姿定位。

在完成客舱地板的拟合调姿后,需对前机身下半部进行拟合调姿。

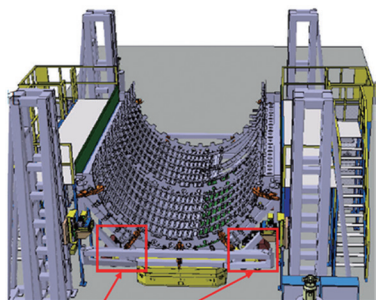


图4 前机身下半部装载

Fig.4 Loading of the lower half of forward fuselage

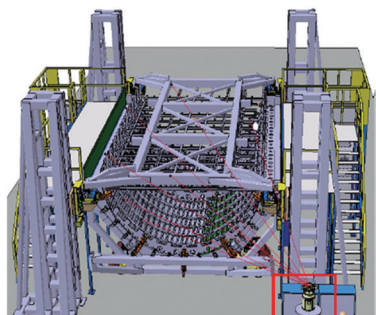


图5 客舱地板网格装载

Fig.5 Loading of the cabin floor

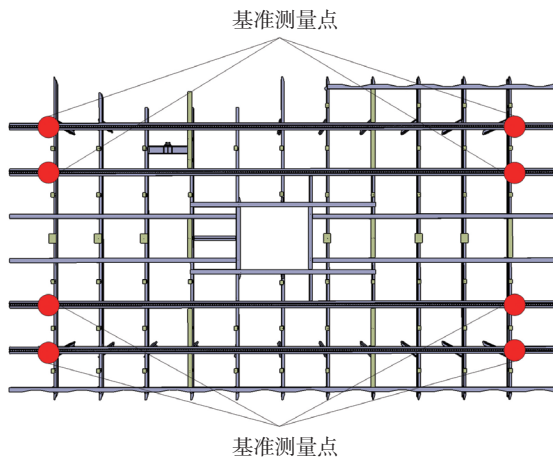


图6 客舱地板测量基准点示意图

Fig.6 Diagram of datum marks of the cabin floor

实测值			理论值			偏差值		
X	Y	Z	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ
11540.55	-485.37	-1295.60	11539.00	-500.00	-1292.00	1.55	14.63	-3.60
11541.01	-485.57	-767.89	11539.00	-500.00	-765.00	2.01	14.43	-2.89
11540.16	-495.21	761.97	11539.00	-500.00	765.00	1.16	4.79	-3.03
11539.97	-496.68	1287.79	11539.00	-500.00	1292.00	0.97	3.32	-4.21
16848.37	-491.47	1290.74	16848.00	-500.00	1292.00	0.37	8.53	-1.26
16848.93	-489.33	763.43	16848.00	-500.00	765.00	0.93	10.67	-1.57
16850.12	-482.08	-766.32	16848.00	-500.00	-765.00	2.12	17.92	-1.32
16849.74	-497.43	-1293.67	16848.00	-500.00	-1292.00	1.74	2.57	-1.67

(a) 姿态调整前

实测值			理论值			偏差值		
X	Y	Z	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ
11538.87	-500.14	-1292.16	11539.40	-500.00	-1292.00	-0.53	-0.14	-0.16
11539.53	-499.92	-764.46	11539.40	-500.00	-765.00	0.13	0.08	0.54
11539.22	-500.52	765.43	11539.40	-500.00	765.00	-0.18	-0.52	0.43
11539.23	-499.58	1291.24	11539.40	-500.00	1292.00	-0.17	0.42	-0.76
16847.60	-499.99	1292.23	16848.00	-500.00	1292.00	-0.40	0.01	0.23
16847.96	-500.26	764.90	16848.00	-500.00	765.00	-0.04	-0.26	-0.10
16848.60	-500.06	-764.86	16848.00	-500.00	-765.00	0.60	-0.06	0.14
16848.03	-499.84	-1292.20	16848.00	-500.00	-1292.00	0.03	0.16	-0.20

(b) 姿态调整后

图7 姿态调整前后客舱地板网格数据测量报告

Fig.7 Measuring report of the cabin floor before and after attitude adjustment

在拟合之前,系统对下半部两端关键孔(K孔)及外保型工装上的光学测量点进行自动测量。测量完成后,系统生成数据测量报告(图8)。整个数据报告由工装本身的光学测量点以及产品上的K孔两部分位置测量结果组成。图8中红色区域测量结果表明产品上的两个K孔位置超差较大,可通过检查下半部壁板与外形卡板的间隙、对上总装架前的测量数据、观察K孔耳片是否被挤压下陷等多种方法来查找偏差产生原因。根据偏差可能产生的原因,进行分步调节拟合以逐步消除各个方向的偏差,系统根据设定的调节参数自动生成运动路径,将产品带到预先设定的位置。为了确保产品的安全性,需要采取逐步拟合接近客舱地板的方式。经过多次拟合调姿后,才能使产品到达最佳优化的状态。

实测值			理论值			偏差值		
X	Y	Z	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ
18151.27	-1596.53	-1324.69	18150.71	-1596.39	-1324.71	0.56	-0.14	0.01
18151.57	-1603.12	1325.48	18151.07	-1603.20	1325.33	0.50	0.08	0.15
18255.04	-1714.33	-1322.60	18254.51	-1714.19	-1322.62	0.53	-0.14	0.01
18258.47	-1714.21	1328.79	18257.90	-1714.22	1328.78	0.57	0.01	0.01
18262.02	-2734.89	1332.94	18261.43	-2734.76	1332.82	0.59	-0.13	0.12
18261.06	-2739.99	-1325.15	18260.50	-2739.78	-1325.29	0.56	-0.21	0.13
9831.02	-1829.16	1325.27	9830.95	-1829.02	1325.07	0.07	-0.14	0.20
9831.05	-1828.99	1324.90	9830.98	-1829.06	-1324.96	0.07	0.07	0.05
9731.22	-1961.23	-1328.08	9731.10	-1961.24	-1328.08	0.12	0.01	-0.08
9729.31	-1978.01	1327.71	9729.25	-1977.78	1327.57	0.06	-0.22	0.14
9733.97	-2756.91	-1332.19	9733.83	-2756.88	-1332.08	0.14	-0.04	-0.11
9730.32	-2773.16	1332.57	9730.18	-2771.22	1332.43	0.14	-1.94	0.14
17190.14	-2243.86	0.03	17190.00	-2244.00	0.00	0.14	0.14	0.03
10786.25	-2243.76	0.20	10787.00	-2244.39	0.00	0.75	0.63	0.20

图8 前机身下半部拟合前测量数据报告

Fig.8 Measuring report of the lower half of forward fuselage before attitude adjustment

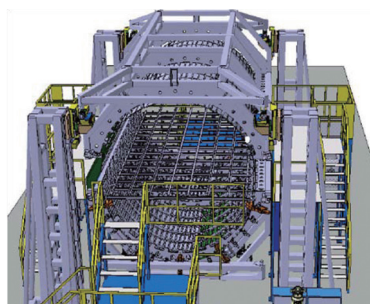


图9 前机身上半部装载

Fig.9 Loading of the upper half of forward fuselage

(6)C919 前机身下半部与客舱地板网格对接。

在客舱地板网格和前机身下半部到达最佳位置,即实现两个部件的精确定位后,可完成前机身下半部与客舱地板网格及立柱连接,并将客舱地板保形架从总装定位系统内移出。

(7)C919 前机身上半部吊装与装载。

调整前机身总装定位系统上部4个定位器至最高位置,通过厂房行车和前机身上半部保型架将前机身上半部装载至APS系统的上部定位器上,如图9所示。

(8)前机身上半部调姿定位。

前机身上半部装载完成后,系统将自动测量上半部外保型工装光学测量点和上半部两端K孔位置的状态,生成数据测量报告(图10)。图10中红色区域测量结果表明产品上的两个K孔位置超差较大,同样需分析产生偏差的原因以找到偏差修正的方法,并根据修正方法进行分步调节拟合以逐步消除各个方向的偏差,系统根据修正参数自动拟合产品

实测值			理论值			偏差值		
X	Y	Z	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ
9930.91	1913.20	1175.42	9931.12	1912.83	1175.17	-0.21	0.37	0.25
9930.98	1912.88	-1175.03	9930.95	1913.17	-1175.05	0.03	-0.29	0.02
10733.40	1926.05	1165.85	10733.50	1925.79	1165.48	-0.10	0.26	0.37
10731.00	1927.41	-1162.28	10730.90	1927.63	-1162.32	0.10	-0.22	0.04
9938.49	1927.27	646.18	9938.59	1927.06	645.97	-0.10	0.21	0.21
9933.52	1926.35	-642.17	9933.52	1926.44	-642.29	0.00	-0.09	0.12
9830.12	2484.78	-1081.30	9830.14	2484.96	-1081.15	-0.02	-0.18	-0.15
9830.16	2492.34	1078.76	9830.32	2491.83	1078.63	-0.16	0.51	0.13
18251.60	1912.94	1175.33	18251.00	1913.25	1175.20	0.60	-0.31	0.13
18251.80	1913.35	-1175.01	18251.00	1912.72	-1174.98	0.80	0.63	-0.03
18245.80	1925.97	-645.66	18245.00	1925.55	-645.65	0.80	0.42	-0.01
18252.00	1925.58	650.23	18251.30	1925.72	650.13	0.70	-0.14	0.10
17445.90	1926.25	-1165.06	17445.10	1925.80	-1165.01	0.80	0.45	-0.05
18350.30	2494.42	-1097.96	18349.50	2493.77	-1098.08	0.80	0.65	0.12
10887.00	2177.79	0.16	10887.00	2178.39	0.00	0.00	-0.60	0.16
17291.20	2177.82	0.23	17290.00	2177.79	0.00	1.20	0.03	0.23

图10 前机身上半部拟合前测量数据报告

Fig.10 Measuring report of the upper half of forward fuselage before attitude adjustment

的运动路径。同样为了确保产品的安全性,需进行多次拟合调姿后才能将上半部调姿到最佳位置。

(9)C919 前机身上半部与下半部合拢。

对前机身上半部与下半部进行制孔铆接,并完成起吊支撑接头的安装、水平测量点确定和制孔等工作。

(10)C919 前机身架内测量。

以前机身客舱地板网格8个基准点建立飞机坐标系,完成产品外形结构数据的采集,并形成测量数据报

告。

结论

飞机大部件数字化自动定位技术的应用,可以有效地提高大部件总装定位的精度,提高部件装配质量,同时大大缩短了部件总装的装配生产周期。数字化自动定位技术已不单单是提高产品质量、生产效率的手段,更是新一代飞机研制生产中不可缺少的一项关键技术。本文结合C919 前机身大部件对接的工程实际

应用,对大部件总装定位系统的工艺流程设计及应用实现进行了深入研究,为国内的飞机大部件数字化自动对接装配提供重要的参考和借鉴。

参考文献

- [1] JAYAWEERA N, WEBB P. Adaptive robotic assembly of compliant aero-structure components[J]. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2007, 23(2): 180-194.
- [2] 翟雨农, 李东升, 王亮, 等. 机身部件数字化柔性装配技术[J]. *航空制造技术*, 2013, 56(1/2): 76-79.
- ZHAI Yunong, LI Dongsheng, WANG Liang, et al. Digital and flexible assembly technology for fuselage[J]. *Aeronautical Manufacturing Technology*, 2013, 56(1/2): 76-79.
- [3] 郭洪杰. 装配仿真技术在飞机并行设计阶段的应用[J]. *航空制造技术*, 2009, 52(24): 65-71.
- GUO Hongjie. Application of assembly simulation technology in aircraft concurred design stage[J]. *Aeronautical Manufacturing Technology*, 2009, 52(24): 65-71.
- [4] MARTIN O C, MUELANER J E, WANG Z, et al. Metrology enhanced tooling for aerospace (META): a live fixturing wing box assembly case study[C]//*Proceedings of 7th International Conference on Digital Enterprise Technology*. Athens, 2011.
- [5] LI Y, ZHANG L, WANG Y Z. An optimal method of posture adjustment in aircraft fuselage joining assembly with engineering[J]. *Chinese Journal of Aeronautics*, 2017, 30(6): 2016-2023.
- [6] 黄翔, 李泷泉, 陈磊, 等. 民用飞机大部件数字化对接技术[J]. *航空制造技术*, 2010, 53(3): 54-56.
- HUANG Xiang, LI Shuanggao, CHEN Lei, et al. Key technologies of digital final assembly for civil aircraft[J]. *Aeronautical Manufacturing Technology*, 2010, 53(3): 54-56.
- [7] 许国康. 飞机大部件数字化对接技术[J]. *航空制造技术*, 2009, 52(24): 42-44.
- XU Guokang. Numerical alignment and marry-up technology of aircraft large parts[J]. *Aeronautical Manufacturing Technology*, 2009, 53(24): 42-44.
- [8] SMITH S O, ZIEVE P B, GURIEVSKY M. Join cell for the G150 aircraft[R/OL]. *SAE Technical Paper 2006-01-3123*, 2006. <https://doi.org/10.4271/2006-01-3123>.
- [9] WILLIAMS G, CHALUPA E, RAHHAT S. Automated positioning and alignment systems[R/OL]. *SAE Technical Paper 2000-01-3014*, 2000. <https://doi.org/10.4271/2000-01-3014>.
- [10] 邱宝贵, 蒋君侠, 毕运波, 等. 大型飞机机身调姿与对接试验系统[J]. *航空学报*, 2011, 32(5): 908-919.
- QIU Baogui, JIANG Junxia, BI Yunbo, et al. Posture alignment and joining test system for large aircraft fuselages[J]. *Acta Aeronautica et Astronautica Sinica*, 2011, 32(5): 908-919.
- [11] 许国康, 高明辉, 侯志霞, 等. 飞机大部件数字化对接关键问题及应用分析[J]. *航空制造技术*, 2011, 54(22): 26-29.
- XU Guokang, GAO Minghui, HOU Zhixia, et al. Key problem and application analysis of digital alignment for aircraft large part[J]. *Aeronautical Manufacturing Technology*, 2011, 54(22): 26-29.
- [12] 蒋红宇, 王宇波. 飞机自动化装配技术的发展[J]. *航空制造技术*, 2012, 55(22): 73-76.
- JIANG Hongyu, WANG Yubo. Development of aircraft auto-assembly technology[J]. *Aeronautical Manufacturing Technology*, 2012, 55(22): 73-76.
- [13] 王声, 梁泽荣, 吴军豪, 等. 关于飞机数字化装配对接技术的研究[J]. *航空制造技术*, 2014, 57(21): 109-112.
- WANG Sheng, LIANG Zerong, WU Junhao, et al. Research on joining for aircraft digital flexible assembly technology[J]. *Aeronautical Manufacturing Technology*, 2014, 57(21): 109-112.
- [14] 汪西, 张俐, 王亮, 等. 机身部件柔性装配数字化测量技术应用[J]. *航空制造技术*, 2013, 56(1/2): 93-97.
- WANG Xi, ZHANG Li, WANG Liang, et al. Application of digital measurement technology in aircraft fuselage flexible assembly[J]. *Aeronautical Manufacturing Technology*, 2013, 56(1/2): 93-97.
- [15] 郭洪杰. 大型飞机柔性装配技术[J]. *航空制造技术*, 2010, 53(18): 52-54.
- GUO Hongjie. Flexible assembly technology for large commercial aircraft[J]. *Aeronautical Manufacturing Technology*, 2010, 53(18): 52-54.

通讯作者: 黎明, 硕士、工程师, 研究方向为飞机数字化装配制造, E-mail: limhcac@163.com。

Application Study of Digital Automatic Locating Technology for Forward Fuselage of C919

WANG Jing, LI Ming, WANG Xiaoyu

(AVIC Jiangxi Hongdu Commercial Aircraft Corporation Limited, Nanchang 330096, China)

[ABSTRACT] It is costly, inefficiency and low accurate using traditional rigid assembly tooling for aircraft parts joining. Airliner parts have large structure with high assembling accuracy. Using digital automatic locating technology can complete the accurate locating of aircraft parts, improving the quality and efficiency of aircraft parts assembly with lower manufacture cost. This paper introduces the implement process of digital automatic locating technology and elaborates application process of digital automatic locating technology for forward fuselage of C919 in detail, which has an important reference value for the digital automatic docking assembly of large aircraft parts.

Keywords: Aircraft part; Digitization; Automatic locating; Assembly; Attitude adjustment analysis

(责编 逸飞)