

航空发动机部件虚拟装配及数字化检测技术

Virtual Assembly and Digital Testing Technology of Aeroengine Part

中航工业沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司 鞠皎莹

[摘要] 虚拟装配与数字化检测技术是航空发动机制造中的先进技术,应用在发动机部件装配及检测中能起到事半功倍的作用。为满足某航空发动机新型喷管的研制需要,以新型喷管为载体,进行了虚拟装配及数字化检测技术研究。结果表明,虚拟装配技术的运用,避免了不必要的返工和浪费,能缩短装配周期,节省研制成本,加快研制进度;而数字化检测技术的运用,使装配质量有了大幅提升,使发动机可靠性得到保障。

关键词: 虚拟装配 数字化检测 工艺规划

[ABSTRACT] Virtual assembly and digital testing are advanced manufacturing technologies of aeroengine, especially when applied in assembly and testing of aeroengine parts. The new type of nozzle is taken as the carrier and the research of virtual assembly and digital testing technologies is implemented to meet the needs of the development of new type nozzle of a certain aeroengine. The results show that the implements of virtual assembly avoids the unnecessary rework and waste and can shorten the assembling period, save development costs, speed up the development progress. At the same time, Digital Testing makes assembly quality improved, which guarantees the engine reliability.

Keywords: Virtual assembly Digital testing Process planning

虚拟装配及数字化检测技术在飞机制造中已被广泛应用^[1],而作为飞机“心脏”的航空发动机,以结构复杂、装配检测精度要求高,有组合加工要求,装配及检测部位空间狭窄,工装设备的使用受限,装配检测可达性差,各零、组件间可移动及调整的空间受限等因素,导致其虚拟装配及数字化检测技术应用较为滞后。在发动机装配过程中,部件装配占用较长的周期,且装配质量直接决定发动机最终装配质量,是整个发动机装配过程中复杂而又关键的环节。传统的装配技术已难以满足现代先进航空发动机研制的高质量、高精度和快速研制的要求。因此,研究航空发动机部件装配的新技术,掌握如虚拟装配及数字化检测等关键技术,以尽快提高我

国航空发动机装配的制造水平,对我国先进航空发动机的研制和生产具有重大的意义。

1 研究载体简介

以某航空发动机典型部件新型喷管的装配与检测进行具体研究工作。

1.1 结构特点

以先进发动机新型喷管部件为研究载体,其结构设计较复杂,是一组相互交错的空间复杂结构体。它由加力筒体、喷管扩散段、收敛偏转段及双环结构的两套作动系统组成,并分别控制位姿动作。其结构如图1所示。

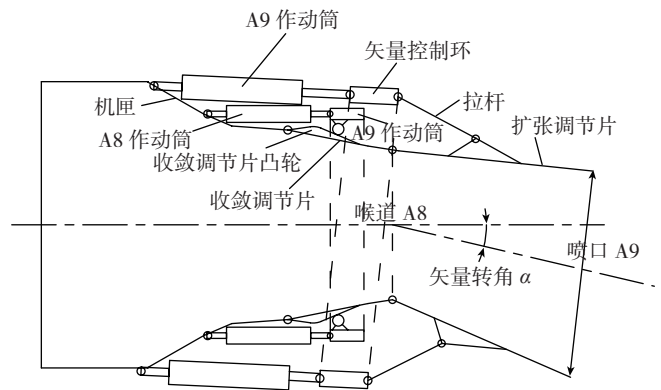


图1 新型喷管结构简图

Fig.1 Structure diagram of new type of nozzle

1.2 技术条件

首先,保证所有零部件按结构图装配合格。

其次,新型喷管扩散段在偏转过程中,要求标定在全方位(360°)范围内任意方向的实际转角(以发动机轴线,即喷管轴线为基准的 $0 \sim \pm 20^\circ$ 之间的任意角度)与模型控制系统给定值要保持一致,并保证在给定公差 $\pm 1^\circ$ 范围内。

2 总体思路

2.1 虚拟装配及数字化检测工艺方案确定

开发基于PDM的数字化可视化工艺结构模式,直观展现喷管虚拟装配的协同生产。

由于新型喷管是较为复杂的空间运动结构体,为避免装配与检测过程产生干涉导致返工造成浪费,在制定

喷管装配检测工艺方案时,采用基于平台的虚拟装配技术,对喷管装配检测顺序、路径进行预先模拟仿真,从而制定喷管最优装配检测工艺方案。

2.2 数字化全方位空间转角标定

研究采用激光跟踪模式采集喷管基于轴线的六自由度转动靶标点坐标,确定靶标点运动轨迹,通过轨迹方程由计算机计算输出喷管全方位(360°)实际空间转角值,并与控制系统给定值进行比较(吻合公差为 $\pm 1^\circ$),完成新型喷管空间转角的标定。

3 难点分析

3.1 纵横交错的复杂空间机构使新型喷管虚拟装配工艺方案的制定难度较大

喷管除加力筒体安装边为机加件外,其余多为钣金焊接和精铸件,制造公差相对较大;喷管工作中相对运动部件较多,且不能产生干涉,难以达到装配精度及动作检测要求;加之喷管装配检测等工序交错进行时要避免引起零件干涉等问题,都对喷管工艺方案的制定带来相当难度。怎样使喷管装配检测工艺正确合理,操作性强,且具有可靠性保障,是工艺方案设计中需攻克的首要难题。

3.2 新型喷管全方位偏转角数字化标定也是重要难题

新型喷管扩散段在偏转过程中,要求标定在全方位(360°)范围内任意方向的实际空间转角与控制系统给定值保持一致。由于喷管的结构特点,其轴线为空,使标定测具因缺少基准而无法设计制造,即使有刚性测具,在喷管空间动作过程中也会因丢失轴心而造成转角标定误差,这给喷管空间动态角的标定带来相当难度。

4 难点解决方案

4.1 实现应用基于 Web 的虚拟装配及可视化工艺模式

作为从现实过程到计算机上的一种映射,虚拟装配可直观地模拟新型喷管装配工艺过程,预先对装配进行工艺规划设计,对装配方法、路径的合理性以及零部件的可装配性进行仿真验证,确定最优装配方案,以可视化工艺模式指导新型喷管的装配。

新型喷管虚拟装配应用的软件环境是以西门子公司的 TC (协同平台软件系统) 平台为基础的制造工艺管理系统,该系统提供了一个协同工作的计算机网络环境和开放的软件工具,应用装配仿真软件 Process Simulation (仿真软件) 与 TC 平台集成,使喷管三维 CAD 模型、EBOM (工程物料清单)、MBOM (制造物料

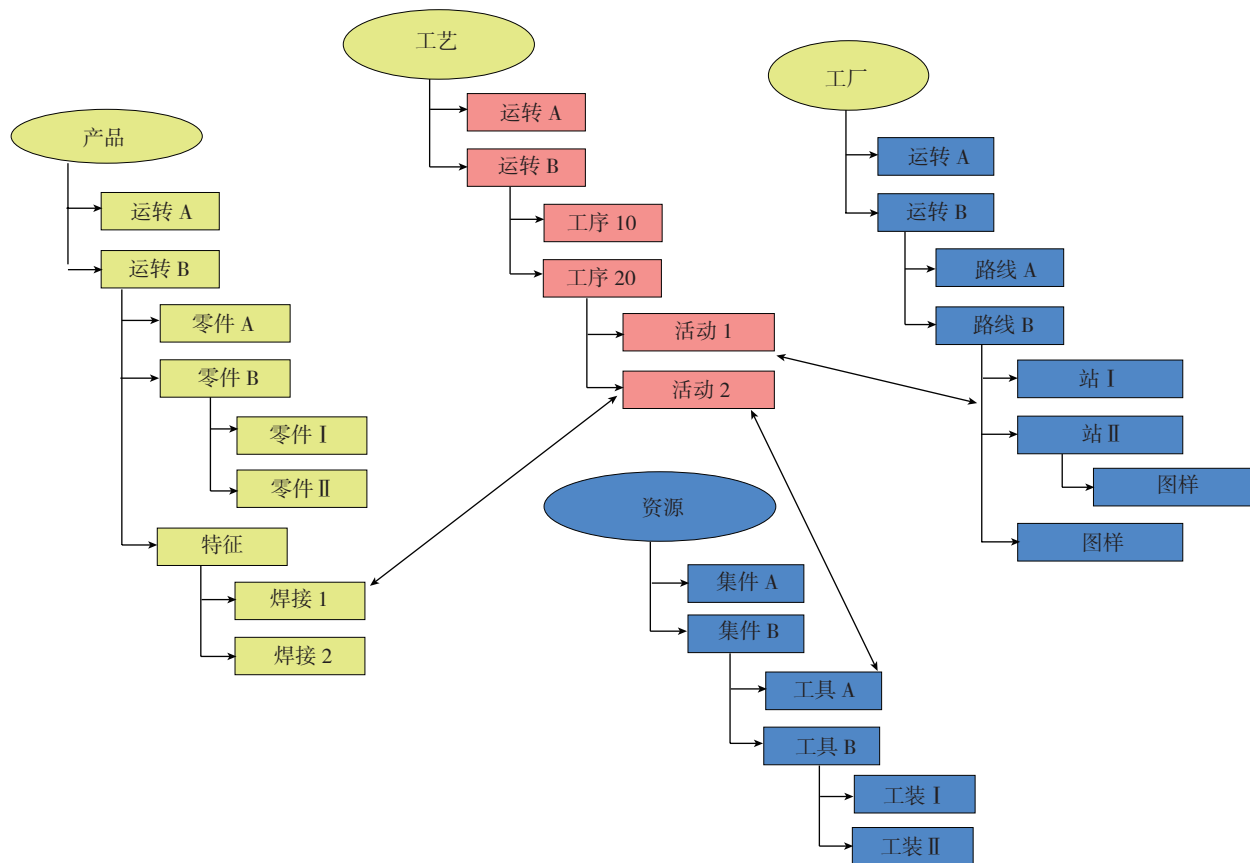


图2 数据传递过程

Fig.2 Data transfer process

清单)以及仿真工具等都建立在 TC 管理系统之下。在规划新型喷管装配过程时,把喷管的数据、所需的装配资源、工序操作和装配特征联系起来,建立起完整的产品、装配流程和资源过程信息,形成表述清晰的工艺规划,并实现平台的高度共享,如图 2、图 3 所示。

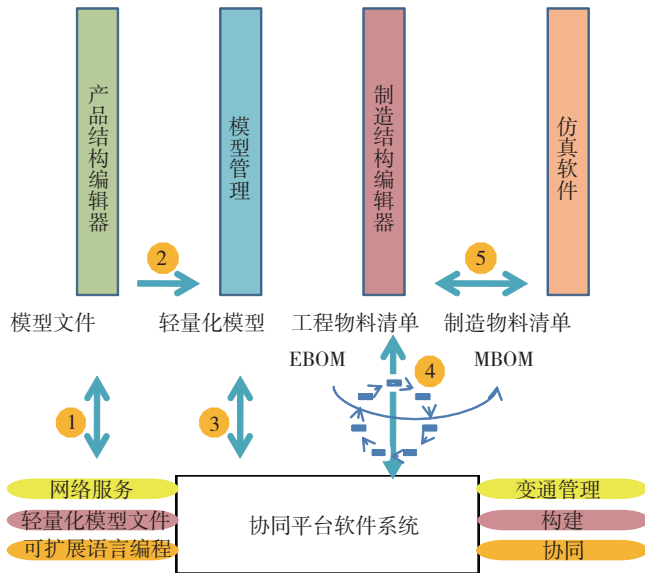


图3 装配仿真环境

Fig.3 Assembly simulation environment

虚拟装配及可视化工艺模式实现方法是将 PSE (产品结构编辑器) 中的新型喷管 EBOM 模型通过 NX Manager (模型管理) 生成轻量化 JT (轻量化模型) 格式保存在 TC 中,在 MSE (制造结构编辑器) 中建立装配顺序规划,再将 EBOM 发送到 MSE 中进行零件分配形成 MBOM,然后在 PS 中进行装配仿真和详细装配规划设计,最终形成装配工艺优化方案保存在 TC 中,并以可视化工艺模式输出项目文档,指导现场生产。

4.2 新型喷管空间动态转角数字化标定

新型喷管转动角度是空间动态的,我们采用激光跟踪测量方法,其测量关键是坐标系的建立和点的测量,对于小范围测量可以直接^[2]选定靶标测量点。采用三维激光跟踪仪分别进行喷管角度偏转过程中靶标点坐标空间走向跟踪,若靶标的运动轨迹是在球面上运动,则表明偏转轨迹遵循球面函数方程

$$f(x,y,z)=(dx^2+dy^2+dz^2)^{1/2},$$

其中, x, y, z 为实测靶标点在坐标系中的位姿变量。当偏转角为 n 度时,靶标点从 (x_1, y_1, z_1) 和 (x_1', y_1', z_1') 到点 (x_2, y_2, z_2) 和 (x_2', y_2', z_2') , 见图 4。

先求出实测周向对称两点运动前后球面轨迹弦长平均值,公式为

$$L_{\text{平}} = 1/2[(dx^2+dy^2+dz^2)^{1/2} + (dx_1'^2+dy_1'^2+dz_1'^2)^{1/2}].$$

再求解实测运动轨迹弦长的平均值与理论模型最

佳拟合,即完成喷管偏转角的准确标定,公式为

$$-1^\circ \leq \arcsin[(dx^2+dy^2+dz^2)^{1/2} + (dx_1'^2+dy_1'^2+dz_1'^2)^{1/2}/4H] - \alpha_{\text{理}} \leq +1^\circ,$$

其中, H 为喷管扩张部分高度(喷管喉道直径到被测直径调节片长度,单位 mm); $2 \{ \arcsin[(dx^2+dy^2+dz^2)^{1/2} + (dx_1'^2+dy_1'^2+dz_1'^2)^{1/2}/4H] \}$ 为实测角度值; $\alpha_{\text{理}}$ 为控制系统给定角度值。

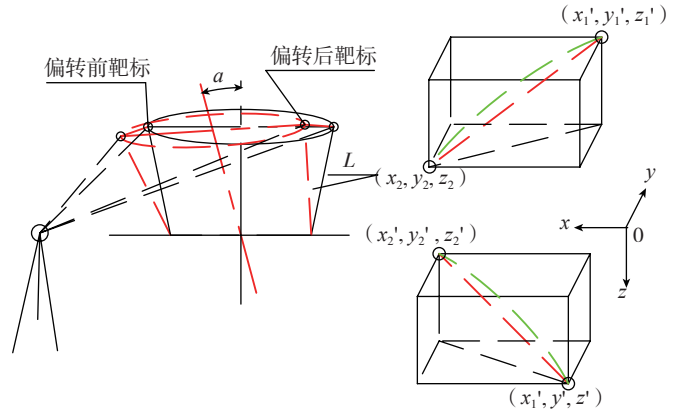


图4 喷管转角测量点运动轨迹

Fig.4 Movement locus of measurement point of nozzle rotation angle

另外,喷管转角标定过程中还需要运用数字化测量系统和数据处理中心。数字化测量系统主要是由激光定位跟踪仪、照相测量系统、计算机辅助测量系统组成的精确测量系统,可以对装配部件的关键点进行快速、准确跟踪测量,保证装配产品的可控性、准确性^[2]。

数据处理中心是由高性能计算机和配套软件组成的计算系统,可以识别装配对象的特征,进行装配方案

表1 喷管转角实际测量值 (°)

方位角	给定转角值	测试值	方位角	给定转角值	测试值
0	5	4.9	180	5	5.4
	10	10.2		10	10.6
	15	15.2		15	15.6
	20	20.2		20	20.3
48	5	5	228	5	5
	10	10.1		10	10.1
	15	15.1		15	15.7
	20	19.8		20	20.9
96	5	5.1	276	5	5.2
	10	10.1		10	10
	15	14.9		15	15.1
	20	19.9		20	20.5
144	5	5.3	324	5	5
	10	10.4		10	10.1
	15	15.3		15	15
	20	20.8		20	20

(下转第 92 页)

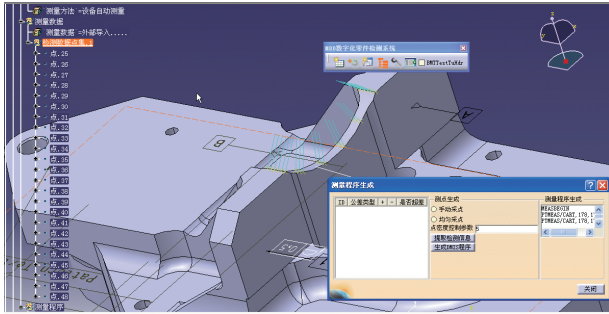


图5 测量程序的生成

Fig.5 Measurement program generated

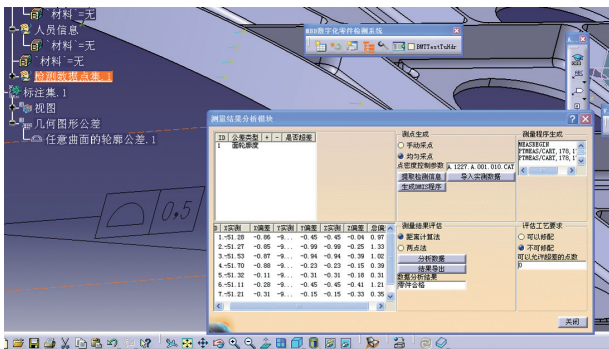


图6 检测结果评价

Fig.6 Inspection results evaluation

据交换的格式。针对不同的功能实现,系统按照 DMIS 格式设定了相应的关键词和变量以及语句字符串的输出格式,用户只需要在相应的界面上执行相关的操作和数据输入而无需了解 DMIS 语句如何编写,系统将自动根据得到的各种数据信息自动生成不同的 DMIS 语句。

2.3 检测结果自动评价

将三坐标测量机实测数据读回软件系统,评估所有的点位数据,从而对要检测的特征做出判断,得到零件是否符合质量要求的结论。软件运行的界面如图 5、6 所示。

3 结论

通过 MBD 的设计思想,提高了零件检测的效率,简化了零件检测的工艺流程,论文结合三坐标测量机对典型飞机结构件的轮廓度进行了检测,相比传统的零件检测方法具有一定的优势。

论文提出的 MBD 检测模型和开发的软件框架具有理论和实际应用意义。

参考文献

[1] ASME Y14.41-2003 (R2003), Digital Product Definition Data Practices.
 [2] 王世刚. 基于 CMM 测量路径优化算法的研究. 机械科学与技术, 2005(5): 1-2.

(责编 小城)

(上接第 77 页)

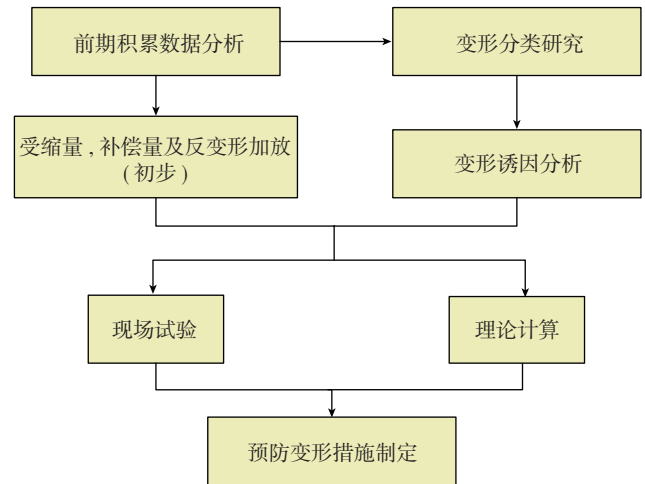


图5 曲面分段精度控制技术解决途径

Fig.5 Accuracy controlling solution for curved section

[2] 缪顾贤, 李冰雄. 造船企业基于托盘管理的舾装件集配管理体系研究. 商业现代化, 2009(3): 136.

[3] 余建国, 顾永风. 基于中心制造船的柔性胎架分析与设计. 舰船科学技术, 2008, 30(1): 120-123.

[4] 翁德伟, 徐学光, 陆伟东. 造船成组技术. 上海: 上海交通大学出版社, 1990.

[5] 张明华. 精益造船模式研究. 北京: 中国经济出版社, 2005.

[6] 高介祐. 船体建造精度管理. 北京: 中国船舶工业总公司船体建造精度管理指导组, 1988: 115.

(责编 深蓝)

(上接第 88 页)

的设计和公差的分析计算,对反馈数据进行处理等工作。

可以看出,喷管转角标定是通过测量系统采集数据传递给数据处理中心,发出控制指令,最后通过数字化跟踪执行器调整确定实测部位的准确位置。

5 方案实施效果

首先,实现了我国首台新型喷管的虚拟装配,并确定了装配工艺优化方案,以可视化工艺模式指导现场装配,其指导性及可操作性明显增强,避免了由于装配方案不正确和装配干涉导致返工而造成的浪费,缩短了装配周期,提升了装配质量,加快了研制进度。

其次,应用数字化激光测量技术测得的喷管空间转角值与给定值误差不大于 $\pm 1^\circ$ (见表 1),满足技术条件要求,实现了喷管空间转角的准确标定。

参考文献

[1] 范玉青. 飞机数字化装配技术综述. 航空制造技术, 2006(10): 42-48.
 [2] 孟飙. 基于激光跟踪的数字化装配系统研究. 沈阳航空工业学院学报, 2009, 26(5): 1-6.

(责编 谷雨)