

# 基于 MBD 的数字化零件检测技术研究<sup>\*</sup>

## Research on Digital Part Inspection Based on MBD

中航工业北京航空制造工程研究所 张少擎

**[摘要]** 为了提高零件的检测效率,保证零件质量,研究总结了典型飞机结构件的典型检测特征,提出了基于 MBD 的检测数据模型,并在 Catia 下使用 CAA 进行二次开发,实现了 MBD 检测数据模型的自动生成和数据的自动提取。研究实现了针对曲面轮廓度检测特征的测量点自动生成算法,并自动转为 DMIS 格式的测量程序,可供三坐标测量机直接读取,实现从检测特征提取到检测设备运行的自动化。最终可对零件的检测结果做出评价。

**关键词:** 轮廓度 数字化零件检测 三坐标测量机

**[ABSTRACT]** In order to improve efficiency to detect the parts, ensure the quality of parts, typical detection characteristics of the typical aircraft structure is studied and summarized and inspection data model based MBD is proposed, then under Catia CAA environments development, MBD inspection model can be automatically generated and extracted. Automatic generation algorithm of a detection measurement point is Researched and achieved for characteristics of the surface profile, and is automatically converted to DMIS format measurement procedures, which can be read directly by coordinate measuring machine. It is realized from inspection feature extraction to the equipment operation. At last, an evaluation of the test results is made.

**Keywords:** Profile tolerance Digital part inspection Three-coordinate measuring machine

飞机结构件是构成飞机机体骨架和气动外形的重要组成部分,主要包括梁、框、肋等多种类型。基于模型的定义(Modle Based Difinition, MBD)是用集成的三维实体模型来完整地表达产品定义信息的方法,它详细地规定了三维模型中产品尺寸、公差标注规则以及工艺信息的表达方式<sup>[1]</sup>。课题研究了典型飞机结构件的典型检测特征,在此基础上,使用 CAA 在 Catia 下开发了一套基于 MBD 的数

字化零件检测系统软件框架。在软件环境下,用户可以直接定义生成基于 MBD 的检测数据集,并能够自动提取检测数据集中的检测数据。针对轮廓度等典型检测特征,程序根据一定的算法还可以在曲面上自动生成测量点,并将测量点数据直接转化为外部数字化测量设备(如三坐标测量机),可以直接读取的 DMIS 文件格式,测量机进行测量,将实测数据重新读回软件系统中计算并对检测结果评价和显示,最终将检测报告输出。

### 1 基于 MBD 的数字化零件检测模型研究

特征是在 20 世纪 70 年代被首次提出并且在不断完善的一个概念。根据产品处于设计、制造、检测等不同阶段的划分,特征可以分为设计特征、加工特征以及检测特征。MBD 的数字化零件检测数据模型除了可以表达出尺寸类特征、形状类特征、轮廓类特征、定向和定位特征之外,还可以表达产品的检测工艺信息等非几何信息。

根据调研和查阅相关的文献及标准,总结归纳了飞机结构件的检测特征数据模型(如图 1 所示)。该检测数据模型基本可以表达出目前航空结构件检测特征对于检测数据生成的需要。

### 2 基于 MBD 的数字化零件检测系统软件框架研究与实现

鉴于航空结构件检测特征繁多、复杂的特点,选取典型航空结构件的典型检测特征作为研究重点,主要探索基于 MBD 的数字化零件检测特征在 Catia 下自动添加,检测数据的自动产生,检测结果的自动评估。为了实现研究目标,使用 CAA 在 Catia 下开发了一套软件框架,如图 2、3 所示,分别为软件的系统体系结构图以及软件工作流程图。

#### 2.1 MBD 检测模型定义

目前,各个飞机主机厂已经开始推广应用 MBD 技术,明确了在数字化环境下产品定义的内容。

三维模型作为产品生产、检验等过程的信息载体,除了包含比二维工程图更为详细的几何信息外,还要求包括尺寸公差、形位公差、材料等非几何信息。

<sup>\*</sup> 航空基金资助项目(20111625010)资助。

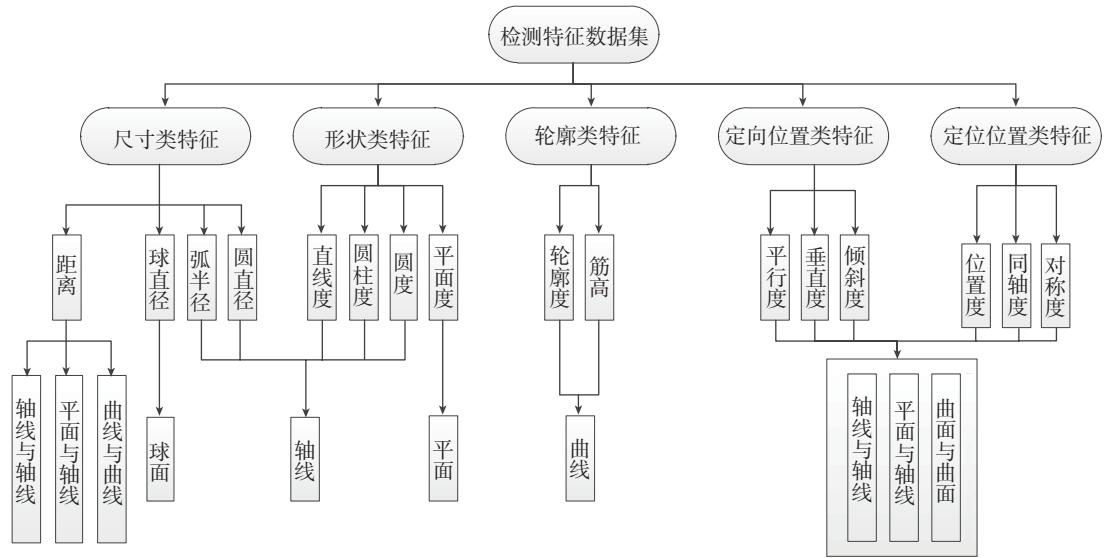


图1 MBD数字化零件检测数据模型  
Fig.1 MBD digital part detection data model

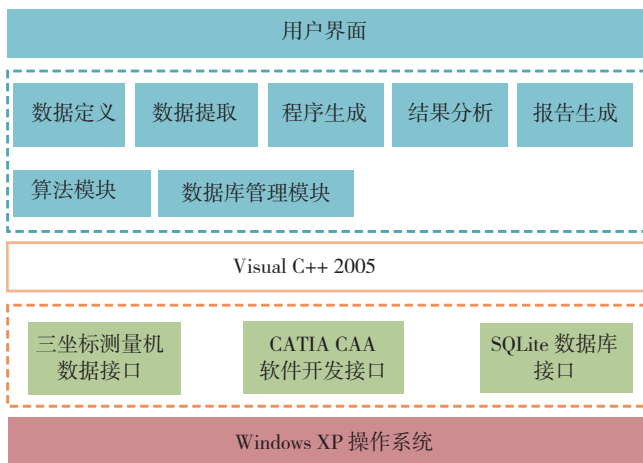


图2 系统体系结构图  
Fig.2 Diagram of system architecture

检测工序、检测方法、检测工具、测量路径、测量数据等检测的规划信息也应该融入到三维模型中成为检测数模的一部分。但是不同的厂家都有着自己定义规范，在定义时存在随意性，无法满足 MBD 的单一数据源要求。

考虑到目前生产实际遇到的问题，需要解决的是将检测信息抽象表达，在软件中一键生成检测抽象数据模型。然后由用户在整个抽象环境下，像做填空题一样，将数据填到生成的 MBD 检测数据模型中。在这个过程中，不能对设计模型或工艺模型已有信息进行修改、删除操作，只能进行公差、检测规划等相关信息的添加。

在检测数据信息的管理中，根据计算机辅助设计系统对应的用对象控制方法的不同，通常采用 2 种管理方式：基于特征树的管理方法和基于层及层表过滤器的管理方

法。

考虑到 CATIA 采用的是特征树管理方式，课题也采用该方式对检测数据信息进行管理，这样可以将检测数据信息更好地融合到三维数模中，并可以让用户以更习惯的方式分类阅读检测规划信息。

### 2.2 测量程序的自动生成

使用 CATIA CAA 开发，针对曲面的轮廓度，根据三维标注中的几何公差自动在曲面上生成测量点集(见图 4)，并将测量点集转化为三坐标测量设备可以直接读取的 DMIS 格式，使用三坐标对自动生成的测量点进行测量<sup>[2]</sup>。主要功能有：

(1) 测量辅助布点功能。

用户可以根据引导在工件上进行布点工作，采样点的分布以减少测量机误差影响为基本原则，主要考虑以下 4 个方面：

- ① 分布尽量均匀，采样点的间距尽可能相近；
- ② 采样点尽可能散开覆盖整个特征表面，以保证检测质量；
- ③ 避免落入孔洞、凸台等不可测或者不可达区域；
- ④ 避免太靠近表面边界，障碍边界和孔边界。

软件采用了自适应再分采样法确定点分布，以规则均匀分布(等参数/等步长)为基础，通过对采样的参数表面几何信息进行分析，采取均分缩短采样步长进行自适应，再分迭代自动规划出相应数目的采样点，并适应表面形状均匀散开。同时规划时使用 CAA 对点在表面上的存在性进行检查，以避免非连续区域。当边的测量采样点数等于 5 时，根据设置安全距离确定采样原始点，再由边长均匀

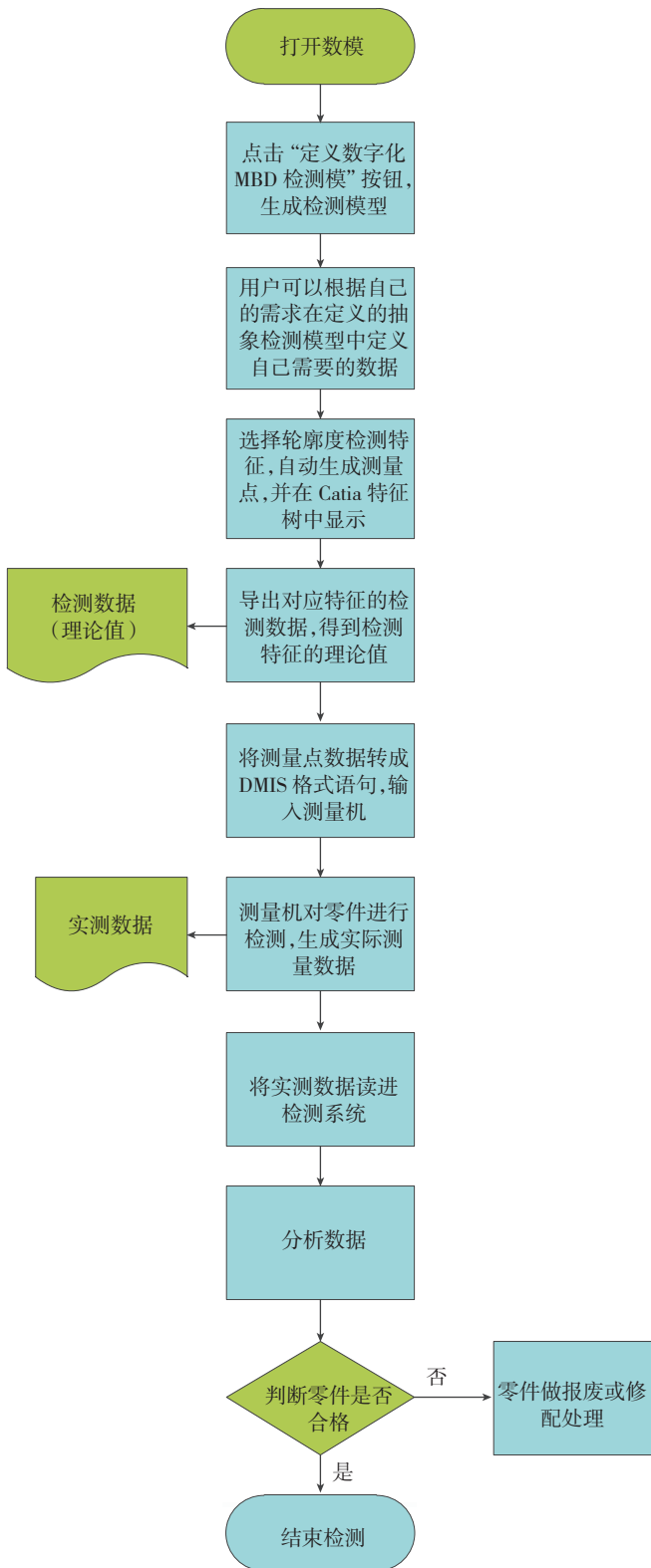


图3 软件工作流程图  
Fig.3 Flow chart of software

地确定步长  $du$ 、 $dv$ ，之后便可以按照步长逐步规划各个采样点。但是由于边所依附的表面可能存在障碍、孔洞等不

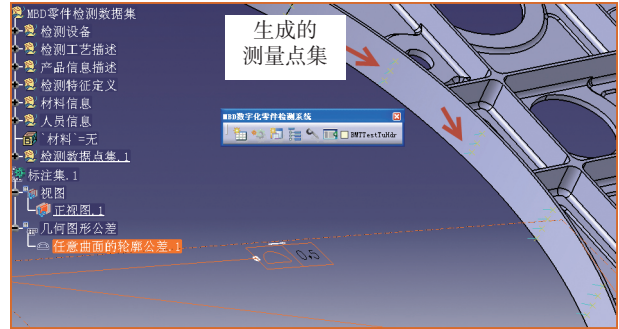


图4 生成的测量点集  
Fig.4 Sets of measurement points

连续区域，第一次规划可能得不到需要的点数，此时步长将自适应再分，继续迭代规划直至设定点数或者失败。边的测量采样算法描述如下：

Step1: 已获取采样点数  $nval=0$ ; 迭代次数  $iter=0$ ;

Step2:  $iter=iter+1$ ;

Step3:  $u_0=u_{00}; v_0=v_{00}$ ; // 分布起始点置为原始起点

Step4: if  $iter >$  最大迭代次数, 则表面上找不到足够数量的有效测量点, exit;

Step5: if  $iter > 2$ , 步长  $du, dv$  等分缩短为原来的一半, 以用于再分出更多的采样点;  $du=du/2, dv=dv/2$ ;

Step6: if  $iter > 1$ , 对原始起点增加半个当前的步长作为每次迭代的新的起点;

Step7: 从  $u_0, v_0$  开始按步长  $du, dv$  同时依次递增, 循环获取各个采样点的参数  $U, V$ , 直到  $U, V$  超出参数范围  $u_{max}, v_{max}$ ;

对于获得的每一个采样点  $(U, V)$ , 假如  $U, V$  在参数范围内, 使用 CAA 功能检查  $U, V$  点是否存在于表面上, 以避免落入不可测或者不可达区域。

对于面的采样点初始设定为 2 行(面内采样不得少于两行), 每行的分布点数预设为: 平面取为 2, 圆柱、圆锥、球取为 3。由此便可确定采样原始起点  $(u_{00}, v_{00})$  和步长  $du, dv$ 。之后的规划过程则为 2 个参数方向上的一维采样的混合, 但每次迭代只对步长  $du, dv$  中较大者对应的方向进行一维步长再分和迭代起始点位置, 另一个方向的设置保持不变。这样做是为了满足均匀性要求, 使得采样点之间行列间距不至于相差太大。在确定  $u, v$  方向的迭代起始点和步长之后, 便可以对主方向 ( $u$  或  $v$  方向) 逐行进行  $du, dv$  循环增加获取采样点。

(2) 测量点与法矢值输出功能。

用户可以根据三坐标测量机所要求的格式将所需的点坐标与法矢值导入到文本文件中, 并且能够依据 DMIS 语句格式, 将数据生成测量程序, 如图 4 所示为生成的测量点集示意图。

DMIS 提供了一种计算机系统和测量设备之间进行数

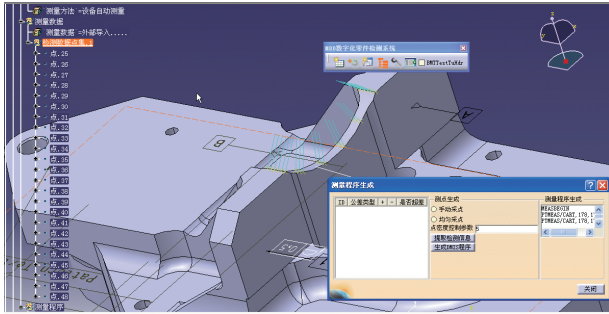


图5 测量程序的生成

Fig.5 Measurement program generated

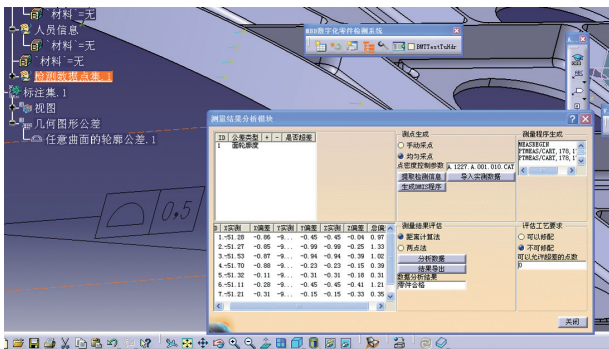


图6 检测结果评价

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)

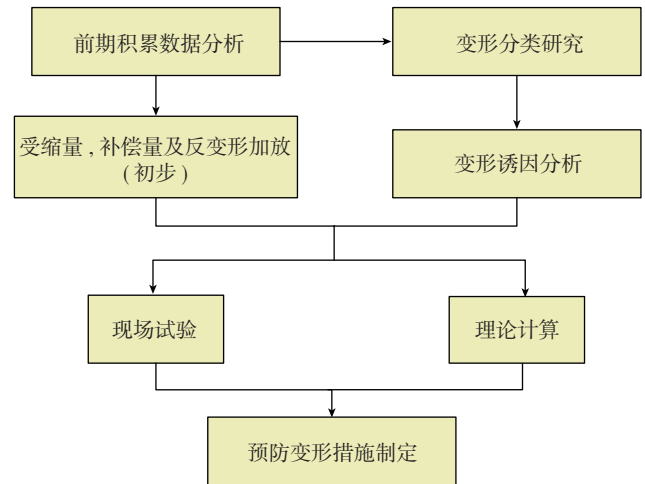


图5 曲面分段精度控制技术解决途径

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)