

# 基于 MBD 的数模解析方法在检验数模中的研究与应用

刘元,徐龙,盛小银,刘爱明

成都飞机工业集团有限责任公司

**摘要:** 随着飞机数字化设计与制造技术的发展,基于 MBD 的设计数模成为主流,检验依据也在探索由二维图纸向三维检验数模转型的道路,航空零件品种繁多,如何快速高效地形成检验数模是检验人员面临的一大难点。本文以机加零件为代表阐述了基于 MBD 的数模解析方法在检验数模构建中的研究与应用。

**关键词:** MBD;检验数模;数模解析;机加零件

**中图分类号:** TG702;TH128

**文献标志码:** B

**DOI:**10.3969/j.issn.1000-7008.2021.04.021

## Research and Application of Mathematical Model Analysis Method Based on MBD in Inspecting Digital Model

Liu Yuan, Xu Long, Sheng Xiaoyin, Liu Aiming

**Abstract:** With the development of aircraft digital design and manufacturing technology, MBD based on design digital simulation has become the mainstream, and it is also exploring the transformation from two-dimensional drawing to three-dimensional inspection models in the inspection basis. There are many kinds of aviation parts, and how to make inspection digital models quickly and efficiently is a major difficulty for inspectors. The research and application of MBD based digital analog analysis method in the construction of inspection digital simulation is described in this paper.

**Keywords:** MBD; inspection models; model analysis; machining part

### 1 引言

近年来,国外基于模型定义(MBD)技术在波音787机型上的成功应用使设计制造一体化技术得到大发展。与此同时,波音、空客、洛克希德·马丁、福特等公司已经普遍采用基于数字化测量设备的产品三维检测与质量控制手段,建立了较完整的数字化检测技术体系,开发并部署了相应的计算机辅助三维检测规划与测量数据分析系统,制定了相应的三维检测技术规范,显著提高了检测效率与质量<sup>[1]</sup>。

国内飞机制造厂商在飞机零件生产验收中大多仍使用以检验计划为代表、依赖二维三维数模转化成二维草图的检验依据。主流的方法是采用CATIA绘制二维工程图+三维模型截图的方式表达几何特征,随后采用CAPP(Excel)编制检验计划表格,且表格采用与制造大纲工序对应的编制方法,列出每道工序需检验的特性,适用于工序检验或成品检验。该方法根据三维数模绘制二维工程图,经过投影转换后标注,难以保证准确性,需要检验工二次理解工程图,存在二义性,识图效率低。检验计划表格全手工输入,自动化程度差,编制工作量大<sup>[2]</sup>。解决生产环节中的检验依据数字化的问题已成为航空制造

业发展的关键技术。

### 2 目前存在的问题

当前,虽然产品设计已实现三维化,工艺规程亦在加快向三维模式转化,但现行的检验依据——检验计划的编制与发布仍主要基于二维模式展开,在当前制造与检验技术环境下,有以下缺陷:

①三维数模向二维工程图的转换过程造成了设计、制造与检测环节在零件模型上的割裂,是三维数模向二维图纸的倒退,破坏了制造依据的唯一性,导致模型的二义性风险,不利于设计、制造和检验形成一体化流程。

②难以充分利用MBD三维数模在设计与制造信息表达上的优势,无法直接基于三维模型提取,并在MBD环境下展开检验计划编制;检验计划编制人员无法摆脱繁重的重复性工作,且编制效率低、耗时长,检验方案缺乏优化<sup>[3]</sup>。以一个含300个尺寸标注和形位公差为数模为例,用人工把这些数据整理到检验计划中,并逐一甄别勘误需要耗费至少2天,若使用由二次开发的系统功能,在20min以内即可完成。

③以二维形式编制的检验计划在复杂结构件的模型与检验方案表达能力不足,难以对生产与检验现场的作业人员提供形象直观、可视、无歧义的检验依据与工作指导。

因此,航空制造业急需根据不同需求开展快速编制三维检验数模的技术探索,形成针对不同类型零部件的快速自动生成检验数模的方法,并开发辅助软硬件系统。

### 3 数模解析模块的构建

#### 3.1 总体框架

数模解析模块通过对三维数模的检测特征数据识别、解析和提取,实现检测特征数据自动标注(部分借助人工交互标注),形成检验数模,与 MBD 三维设计数模无缝衔接,同时将解析的数据传输进 PDM 系统中的检验计划基础数据模块中。总体框架见图 1。

#### 3.2 体系核心

基于 MBD 的数模解析模块能快速生成检验计划,其核心功能由三部分组成:检测特征的识别、解析和检测特征的标注;检测数据的公差配置。

##### (1) 检测特征的识别和解析

传统的手工标注形式,由技术员根据数模的特征进行尺寸标注,尺寸标注往往因检测特征的不同,涉及的标注基准和工程图习惯的标准样式也不尽相同。因此,在此阶段要对标准尺寸的特征进行识别和解析,对不同种类的零件进行归类,统一标注方式,而检测特征也是后期公差配置和检测工具选取的依据。

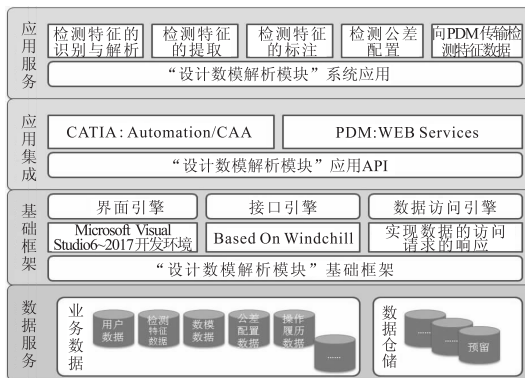


图 1 数模解析模块总体框架

因航空零件种类较多,程序对零件逐个判断效率低,此处采用人工干预和自动识别结合的方式实现检测特征的识别和解析。根据零件特征把零件分为 14 个子类,需要检测的特征分为 27 个子类(见表 1),在模块中导入数模后,由技术人员先进行零件类型的判断,在界面右侧点选零件类型(见图 2),程序根据零件类型中所定义检测特征的逻辑进行数模的顺序识别和解析。

##### (2) 检测特征的提取和标注

在识别和解析的基础上,实现检测特征数据的快速提取、标注和编号。在检测特征的提取和标注功能的实现上采用交互式的工作方式,即检测特征自动识别后,技术人员可人工干预;对于不需要数据的可删除,未识别出数据的则需要增加,并在人工辅助的情况下实现特征的自动编号。应特别注意的是形位公差在 CATIA 中无开发接口,因此形位公差的自动编号需要手动进行。



图 2 菜单界面

表 1 检测特征

| 序号 | 几何特征     | 序号 | 几何特征   |
|----|----------|----|--------|
| 1  | 孔径       | 15 | 下限过渡区  |
| 2  | 孔距       | 16 | 下限长度   |
| 3  | 精孔孔径     | 17 | 一般尺寸   |
| 4  | 精孔孔位     | 18 | 角度     |
| 5  | 腹板厚度     | 19 | 外形     |
| 6  | 缘条厚度     | 20 | 筋位     |
| 7  | 筋条厚度     | 21 | 形位公差   |
| 8  | 不等厚厚度    | 22 | 斜筋筋顶   |
| 9  | 筋缘条高度    | 23 | 双 R 位置 |
| 10 | 筋顶到缘条过渡区 | 24 | 螺纹     |
| 11 | 转角       | 25 | 螺纹长度   |
| 12 | 底角       | 26 | 非转接 R  |
| 13 | 倒角       | 27 | 扳手台宽度  |
| 14 | 槽口       |    |        |

##### (3) 检测数据的公差配置

公差配置是检验计划编制中重要的组成部分。技术人员根据机型和检测特征的不同,在尺寸后增加公差,以便零件验收。公差配置主要来源于 4 个方面:数模中设计已标注尺寸上给定公差;数模中结构树中的通用公差,即某机型特定的公差文件;专业厂之间的交接单公差以及未尽的尺寸按照标准公差库配置公差,通常为 HB5800 中的一般要求。

在数模解析模块中,按机型和特征建立公差库,对设计在数模中未给出公差的尺寸进行公差配置,其优先级如图 3 所示。

##### (4) 向 PDM 传输检验特征数据

检验计划作为检验依据需要按照航空质量记录的要求进行相应年限的保存,因此大量的数据都将

上传到 PDM 在数据库存储。这需要形成.xml 格式的检验计划,将数据导入 PDM 系统中对应的数据表中,一方面利于后期与 MES 系统对接后实现验收时无障碍调用和实时的检验计划管理,另一方面是推进航空企业无纸化进程。

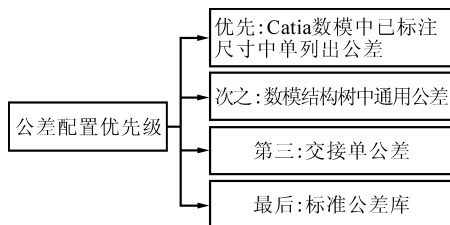


图 3 公差配置优先级

### 4 机加零件的快速检测实例

本文以机加零件为例,阐述基于 MBD 的数模解析的整体流程。

#### 4.1 传统模式与快速检测模式对比

传统的机加零件检验以二维图纸作为主要检测依据,从二维图纸标注到公差配置都完全依靠手工完成,工作量大多易出错。此外,记录以纸质文件传递,归档跟踪困难,查阅费时费力。

数模解析模块以数模作为检验依据进行识别标注,保持了设计数据在制造各环节的统一性和可追溯性,且自动化程度高,提高了检验计划编制效率(见图 4)。

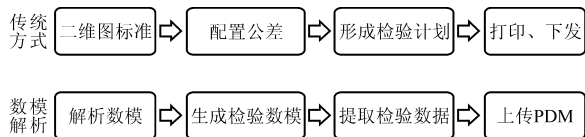


图 4 两种检测模式流程对比

#### 4.2 数模解析快速生成检验数模

以某零件为例,根据其特征选择零件类型,数模解析模块可对数模自动进行解析。在数模中形成需要检测的尺寸,技术人员可以根据经验增减尺寸,进而形成检验数模。同时生产需要检验尺寸的数据表格,点击表格中任意尺寸,数模中对应的该尺寸将会亮显,同时数模会转向可以最清楚显示该尺寸的方向,点击“生产 XML”按钮即可生产.xml 格式的数据文件,并将其上传 PDM 以便后期调用(见图 5)。后期检验人员可以在现场直接从 PDM 调用检验数模作为验收的唯一依据。

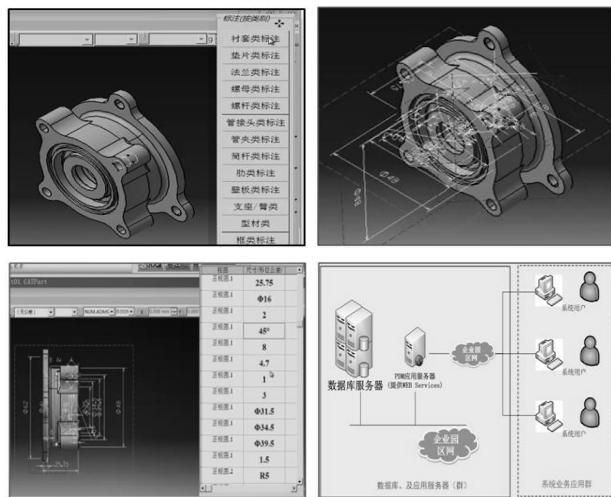


图 5 数模解析过程

### 5 结语

通过对机加零件类型的梳理和多方资源的整合,探索了一套在机加类零件上可行的自动识别特征的逻辑。通过试点不断完善应用,形成了源头的数模解析——过程的检验计划编制——终端的数据上传的完整快速作业闭环,实现了质量控制,提高了检验依据编制效率,降低了检验人员的劳动强度。

飞机结构复杂,零件种类繁多,工艺特点不同,检测手段和方法多样,基于全三维模型的数字化检测数模编制涉及多学科多领域,有很大的技术难度<sup>[4]</sup>。通过基于 MBD 的数模解析的研究与建立,彻底改变目前传统的零部件检测依据形式,实现了二维图纸到三维数模的转变,形成了飞机复杂零件与部件数字化设计、制造和检测一体化流程,提升了飞机零部件检测效率及质量。

### 参考文献

[1]周秋忠,范玉青. MBD 技术在飞机制造中的应用[J]. 航空维修与工程,2008(3):55-57.  
 [2]徐龙,刘爱明,刘元. 基于 MBD 的检验数模在数字化检测中的应用[J]. 工具技术,2016(10):104-106.  
 [3]尹海军,杜宝瑞,范民. 无图设计制造技术在飞机研制中的应用[J]. 中国制造业信息化,2009,38(7):35-41.  
 [4]章平. 浅析 MBD 技术在飞机制造检验中的应用[J]. 科技与企业,2014(10):353.

第一作者:刘元,高级工程师,成都飞机工业集团有限责任公司检验检测部,610092 成都市

First Author: Liu Yuan, Senior Engineer, AVIC Chengdu Aircraft Industrial (group) Co., Ltd., Chengdu 610092, China