

基于 SA 二次开发的大尺寸型面数字化测量系统*

Surface Measurement System for Composite Material Component Based on SA Secondary Development

北京航空航天大学机械工程及自动化学院 张 俐 任远鑫 江 春

[摘要] 针对大尺寸型面的误差检验流程,基于测量软件 SA,运用 VC++ 和 SASDK 进行二次开发,建立了数字化的测量系统并给出了系统的体系结构和具体的功能模块。最终通过验证件蒙皮面的测量与分析,验证了系统的有效性和实用性。

关键词: SA 二次开发 数字化检测 型面偏差

[ABSTRACT] To solve problem of composite material component surface measurement, a digital surface measurement system based on SA is developed. The architecture and main function module of proposed system are put forward. The technology about SA developing is studied. The feasibility and effectiveness are verified by measurement and analysis on sample of aircraft skin part.

Keywords: SA secondary development Digital measurement Surface error

随着数字化技术的发展,对于产品质量和生产效率的要求越来越高,依靠模拟量传递的传统制造技术已经不能满足用户不断提高的需求,因此数字化制造技术得到了飞快的发展。数字化检测技术是数字化制造技术中相当重要的一环,与数字化设计、制造流程相配合形成一个闭环。

目前,大尺寸自由曲面测量是测量领域的研究热点,随着数字化测量技术的发展,激光跟踪仪、CMM(三坐标测量机)以及关节臂等先进的测量仪器被逐渐应用于曲面检测领域。但是,当单一设备无法兼顾测量范围大、测量对象关键结构复杂、测量精度与待测信息种类繁多的要求时,还需要采用组合式测量方法,需要多种设备配合使用。因此,采取一种兼容多种测量设备的测量软件十分必要。目前,实际工程中常见的测量软件主要有 Metrology XG、V-STARS、Ployworks 等。但是,这些软件的共同点是对于设备的兼容性不够,多数只能操控一到两种设备,比如, Metrology XG 虽然可以操作多种型号和品牌的激光跟踪仪,但无法兼容摄影测量设

备,而 Zeiss 的三坐标测量机只能与 Calypso 软件配套使用^[1]。目前,国内也有自主研发的测量软件,如郑州辰维科技公司开发的 BASS 自由曲面测量分析软件等,但是它应用范围较小,相比国外的知名软件,没有很好的精度保证。

相比较之下,美国 NRK 公司开发的 SA (Spatial Analyzer) 软件作为一款可溯源的三维测量分析软件,可同时连接 120 多种类型的仪器进行同步测量,并快速实现复杂的分析任务^[2]。同时 SA 软件还通过了波音公司的认证,广泛应用于国内外制造领域。

本文采用光学测量方法,以激光跟踪仪和照相测量为主,基于 SA 工业测量软件平台以及相应的二次开发技术,开发了相应的大尺寸构件型面数字化测量系统,并通过飞机蒙皮的测量以及测量数据的处理评定进行系统的应用验证。

1 SA 二次开发技术

SA 软件是一款功能强大的通用测量平台软件,在功能设计上偏向于通用化,但是软件操作相对复杂,不同的操作人员使用不同的操作路径往往导致最终的分析结果不同。另外,软件的函数处理方式大多非参数化,而本身自带的测量计划又相对复杂,因此不便于对产品进行批量测量^[3]。本文应用 SA 提供的自动化 (Automation) 编程接口对 SA 进行二次开发,并最终在飞机壁板类构件的型面检测中进行了应用验证。

目前,SA 软件为用户提供了两种二次开发的方式: Measure-Plan (MP) 和 SA 提供的 SDK。MP 主要是通过软件内部定制测量计划,然后进行封装操作,最后导入软件来运行,而开发接口主要是通过 SA 提供的 SDK 开发包来进行。

内部定制开发主要是通过 SA 提供的 MP (测量计划) 来对 SA 自身进行针对性的开发,MP 类似于宏命令,可以通过 MP 进行大量复杂和重复性的测量工作。采用此种方式进行开发主要是通过软件自带的 MP 脚本编译器来进行编制,之后将 MP 封装为脚本文件,然后导入软件直接运行。通过 MP 进行开发相对较为复杂,

* 项目(51318010204)资助。

仅仅适用于单一对象的重复测量。

另外,类似于 CATIA、Pro-E 和 UG 等 CAD 软件,SA 软件也对外开放自身的自动化编程接口。自动化对象编程技术是建立在 COM 基础之上,通过应用程序接口的属性和方法来操纵程序对象,操作人员可通过调用接口函数来对软件进行操作,从而实现相应的功能。这种开发方式可以采用 VB、VC++ 等实现,采用 VC++ 进行开发具有更大的灵活性,因此更多的采用 VC++ 进行开发^[4-5]。

本文中系统的开发思路是采用上述两种开发方式结合的方法构造具有文档-视图结构的应用程序。具体的开发思路如图 1 所示,即通过 SA 进行测量数据的采集以及测量计划的执行,通过自身程序进行数据的处理、测量计划的制定编写、数据的管理和误差的计算,之后再通过 SA 软件进行最终的显示。

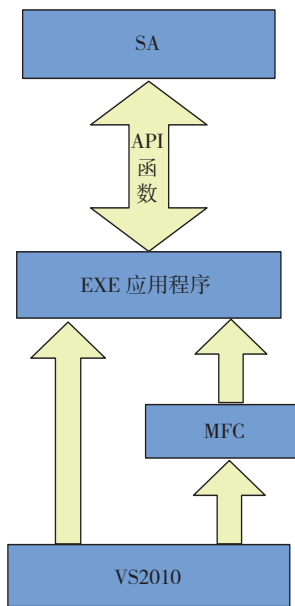


图1 SA二次开发技术思路

Fig.1 Mode of SA secondary development

2 数字化测量系统总体设计

本文所介绍的数字化测量系统主要针对大尺寸构件型面。系统主要包括数据管理模块、数据处理模块、测量过程操控模块、测量特征提取模块和型面偏差分析模块。

系统首先通过检验过程数据库获取理论信息(理论数模和测点理论信息),之后进入测前准备阶段。准备阶段首先要进行数据筛选,数据筛选主要是针对测量对象选择对应的理论数据,然后需要输入设备参数,主要包括了环境参数(如温度、湿度和气压)、修正参数以及基准尺长度等。对不同设备校检项目不同,比如,激光跟踪仪需要校准棱镜中心、绝对距离、双面测量精度

等,而照相测量则不需要太多校准,只需要对曝光时间以及相机光圈大小进行调整即可。参数设置完成之后,将理论数据以及设备参数通过显示窗口进行显示和配置。然后采用仪器进行基准点的测量,再通过初配准模块进行初配准,将转换后的基准点利用 SA 软件的 Best-fit 功能进行二次配准,最终的配准结果与原始理论数据对比,得出两者误差。

若配准误差过大则需要分析误差原因,重新配置仪器或者更改基准点布局,再次测量,然后配准直至满足误差要求。配准误差合格之后,进行型面的测量,然后计算测点与型面的偏差,最终生成测量报告,并将测量数据以及最终的输出报告和结果存入到数据库中。系统的功能模块和结构图如图 2 所示,具体工艺设计系统流程如图 3 所示。

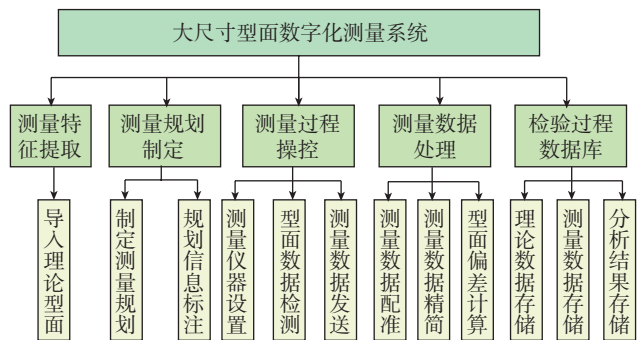


图2 系统功能模块和结构

Fig.2 System function modules and structure

图 4 为本文构建的数字化测量系统人机界面。中间区域为显示区域,主要是用于测量对象显示和测量过程操控;左侧为功能区域,主要用于显示测量对象的数据信息以及对测量数据进行操作;右侧为 GD&T 工具栏,用于测量信息的标注;下侧区域是实时监控区域,用于测量系统的实时状态显示。

3 系统主要功能模块设计与实现

3.1 数据提取及导入

通常测量系统需要首先识别并获取检测对象所需数据,然后通过检测规划执行检测任务。本文构建的测量系统所涉及的数据主要包括测量对象的模型数据、测量对象的设计数据以及最终的测量数据 3 类。图 5 为系统的数据构成图。

SA 中所有的测量特征、实体对象以及测点特征等信息不存在任何的关联,因此若直接导入,则在程序开发过程中数据信息会变得杂乱无章,无法对数据进行有效地管理。因此,本文需要采取树结构进行数据存储,建立树结构必须首先建立相应的从属关系。而 SA 中数据的唯一标示符为“集合名+组合名+对象名”,因此

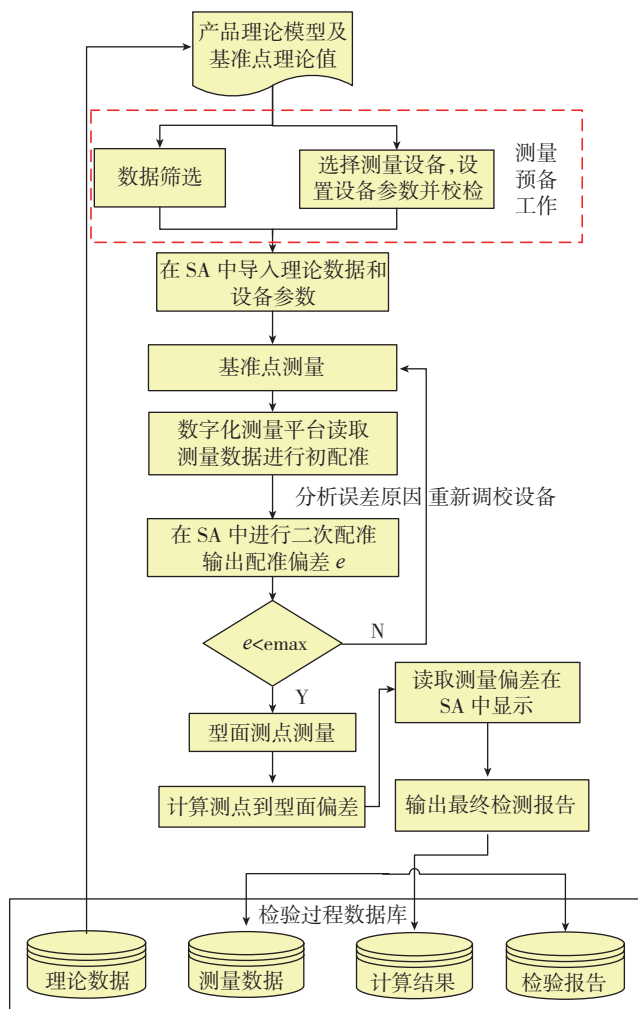


图3 数字化测量系统流程

Fig.3 Flow of digital measurement system

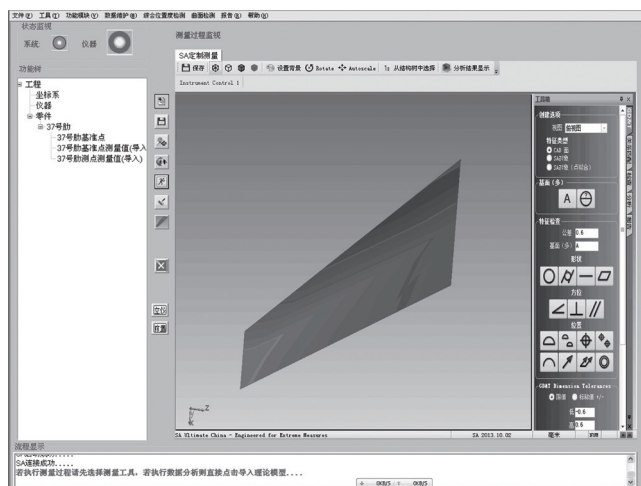


图4 数字化测量系统人机界面

Fig.4 HMI of digital measurement system

必须在图 5 所示的数据导入到系统后,将数据集进行归类建立相应的从属关系。本系统中采取的根本节点为工程名,建立了如图 6 所示的数据结构形式。

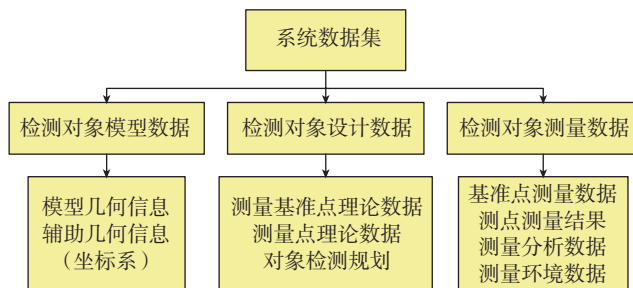


图5 测量系统数据构成

Fig.5 Structure of measurement system data

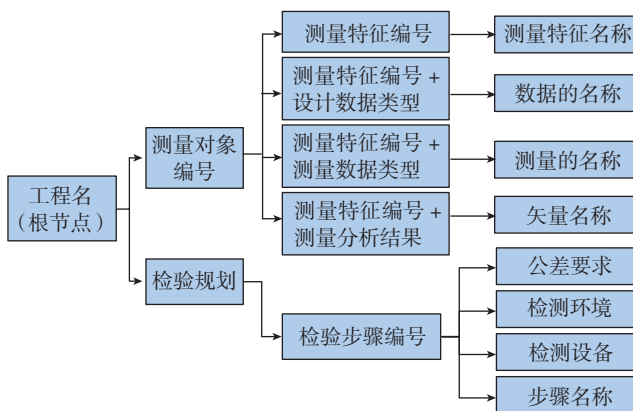


图6 数据树形结构

Fig.6 Tree view of data structure

最终通过程序左侧的结构树对测量过程中需要的数据进行显示(图 4)。通过点击结构树上相应的组合名称可以查看组合内部对应的特征对象的具体属性。

3.2 检验规划制定

无论采取何种方式进行检测都需要针对不同的检测对象制定相应的检测规划。检测规划即根据检测对象的工艺特点以及所包含的关键特征制定相应的检测步骤,包括每个步骤中检测设备的选择、设备操作方式的制定、检测环境的参数设定以及该检测特征的公差要求等。检验规划的制定可以减少不同的操作人员在对同批次产品进行批量检测时由于测量路径的差异对最终分析结果的影响,同时也提高了检测的效率。

检测规划需要在对象进行第一次检测时添加,主要分为 3 步:(1)分析检测对象的特点,通过点击系统中的结构树依次添加检测的步骤,在每个步骤中进行检测设备的选择和测量公差以及测量环境参数的设置,最终在结构树中生成检测对象的全部检测流程;(2)依照上述步骤中所制定的检测规划信息,利用 SA 自带的 GD&T Toolkit 工具包,通过点击视图中相应的检测特征来完成检测对象规划信息的标注,同时将相应的检测特征与每一步的检测规划相关联;(3)上述两个步骤完成之后还要对检验规划以及相应的标注信息进行保存,将标注信

息直接与测量对象一起保存至模型信息中。这些信息最终将在之后的同批次产品的检测中直接作为设计数据集的一部分导入到测量系统当中。图7为检验规划在结构树中的显示形式,采用树状图的形式显示了检测规划每个步骤的信息。图8为依照图7所示规划方案对检测对象进行标注的效果图。

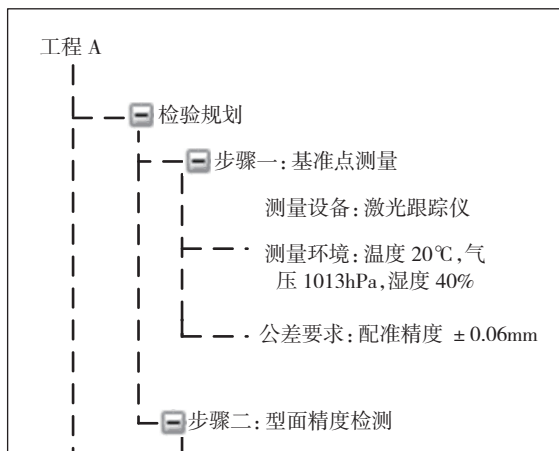


图7 检验规划结构示意图

Fig.7 Diagram of inspection planning structure

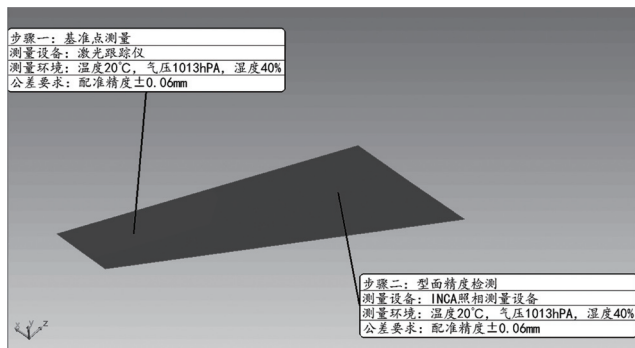


图8 检验规划信息标注

Fig.8 Callouts of inspection planning information

3.3 测量过程操控

由于本文所构建的数字化测量系统是基于SA软件进行二次开发的,SA软件针对不同的检测设备开发了相应的仪器界面,因此,并不需要对仪器的操作界面做过多开发。但是,SA软件自身对于测量过程中产生的数据仅仅是以点组合的形式进行存储,所以,相对独立,无法直接与检测对象建立从属关系。因此本文开发相应的操控模块对检测过程中产生的数据进行管理。该模块的作用主要有3个:(1)仪器参数设置,主要是对光学测量所用到的测量靶球以及靶座的尺寸参数进行设定从而确定数据处理过程中的尺寸补偿量;(2)测量数据查看,通过点击机构数中相应的测量组合,查看该组合中数据点的信息包括理论坐标值、实际坐标值

以及相应的测量环境参数;(3)对测量结果进行存储,在首次测量时新建一个测量组合,然后读取设计数据集中的点名信息,依次测量对应点名的测点数据,最后将结果存储至数据库中。所用的测量过程数据的存储都采用关联容器Map来实现,容器的Key值为点在SA中的标识符,因此本文系统中主要采取5个关联容器来存储所有的过程数据,分别为基准点的理论数据和测量数据,测点的理论数据和测量数据以及测量的辅助信息。

3.4 测量数据处理

检测的关键步骤是最后的数据处理和数据分析,在最后分析测量数据与理论型面的误差之前,需要对测量数据进行初步的处理,主要是坐标系配准和测量数据的精简。

测量时,测点的初始数据均是在设备坐标系下得到的值,因此要计算测点到型面的偏差,必须首先将测点坐标系与理论坐标系统一到同一个坐标系下。而通常情况下,光学测量中,测点的初始坐标往往与理论坐标值相差较大,因此需要对点云数据进行两次配准。通过初始配准缩小两组点云之间的旋转和平移错位以提高精确配准的效率和趋向,之后通过精确配准使两个点云之间的配准误差达到最小^[6]。

SA自身进行配准采用的是基于四元素法的ICP配准算法^[7]。为提高精度和提高配准效率,在采用SA软件对型面测量数据进行配准之前,首先通过少量基准点对数据点进行初次配准,之后再将变换之后的数据点作为测量点在SA中进行配准。

初始配准算法需要快速配准,本文采用罗德里格矩阵法进行坐标配准。选取3个特征点作为配准的输入值,特征点选择所有基准点的质心以及另外与质心组成三角形面积最大的两个基准点^[8]。配准流程图如图9所示。

配准结束之后还需要根据实际测量型面的测量范围对测量数据进行精简,主要是对粗大误差点进行删减,若测量数据量较大,也可以通过SA软件的取样功能对型面划分区域,然后对每个区域均匀取点,最终得到相对稀疏的点云数据。

3.5 测量结果分析

当测量数据与设计数据在同一坐标系之后就可以对测量结果进行分析。测量结果分析主要利用SA提供的API函数查询测点到测量型面的距离,以及测量点在X、Y、Z3个方向上到型面上距离最短点的偏差,从而得出对测量型面进行最后的分析评价,最终通过色差图进行分析结果的显示。最后再将分析结果生成分析报告上传至检验过程数据库中。

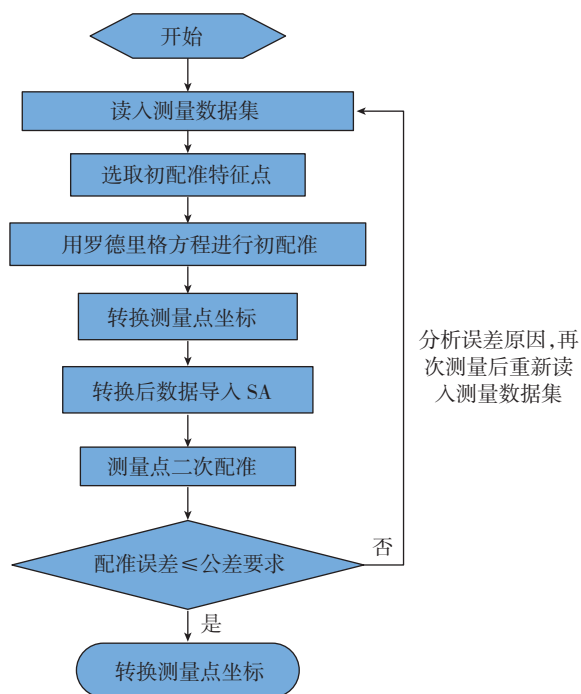


图9 测量数据配准流程

Fig.9 Flow of measurement data registration

4 实例验证

为验证系统的有效性和实用性,以飞机机翼验证件的蒙皮面为例,利用本文所构建的系统对蒙皮面做了测量并对最终的数据进行了分析,分析结果如图 10 所示。

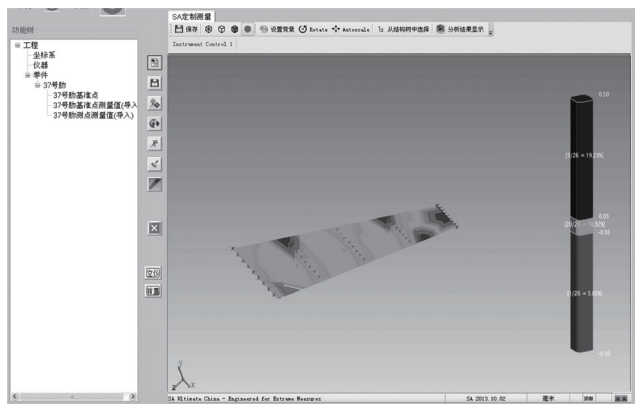


图10 分析结果

Fig.10 Results of analysis

5 结论

本文给出了一种基于 SA 二次开发的复材构件型面数字化测量方法,最终以验证件蒙皮面为例对系统进行了验证。验证结果表明,系统运行稳定,克服了 SA 自身的非参数化、操作复杂等缺点,最大程度地避免了人员更换对于测量误差的影响,为下一步进行测量不确定度的分析以及误差补偿等操作提供了良好的基础,也为

SA 软件二次开发的研究提供了参考。

参考文献

- [1] Zeiss C. 3D Metrology Services Gmbh Calypso, *. 4 软件教程. 2005.
- [2] New River Kinematics, Inc. Spatial Analyzer User's Manual. New River Kinematics, Inc, 2013.
- [3] 蔡国柱, 满开第. SA 综合测量软件在兰州重离子加速器准直测量中的应用. 测绘科学, 2013, 38(4):162-163, 212.
- [4] 吴卓, 丁志磊, 赵国霞. 在 VC 环境下利用 Pro/TOOLKIT 对 Pro/E 进行二次开发. 组合机床与自动化加工技术, 2006, 6: 40-43.
- [5] 孙鑫. VC++ 深入详解. 成都: 电子工业出版社, 2006.
- [6] 孟禹. 基于采样球和 ICP 算法的点云配准方法研究[D]. 北京: 清华大学, 2012.
- [7] Horn B K P. Closed-form solution of absolute orientation using unit quaternions. JOSA A, 1987, 4(4): 629-642.
- [8] 刘子路, 张俐, 郑国磊. 一种基于 CAD 的翼类曲面误差检测方法. 图学学报, 2012, 33(6): 136-139.

(责编 叶枫)

(上接第 132 页)

设计返工。在传统的飞机数字样机审查方法上进行了提升,取得了一定的效果,通过表 2 进行比较说明。

6 结束语

本文提出的基于上下文区域的飞机数字样机审查方法,使设计人员不仅能够准确、快速地加载审查区域内的上下文模型,而且能够利用模型的链接关系实时进行干涉分析、运动机构分析等,审查流程中数据的产生、传递和更改过程实时、准确、高效。将审查结果作为完善设计更改迭代的依据,能够在上下文环境中快速进行模型更改,样机审查流程管控审查过程有记录、审查结果已审签、审查过程全覆盖,有效规范了数字样机审查过程,避免了审查过程中出现的协调问题不落实、协调更改后不审查等问题,提升了数字样机分析与评估的效率,提高了飞机设计效率,缩短了设计周期。该数字样机审查方法已经在某型号上进行应用,随着应用的深入将进一步完善,以更好地满足飞机研制的需要。

参考文献

- [1] 范玉青. 现代飞机制造技术. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001.
- [2] 郑朔昉, 王俊彪. 飞机数字样机研制规范化解决方案. 航空制造技术, 2003(9):67-71.
- [3] 刘俊堂, 刘看旺. 关联设计技术在飞机研制中的应用. 航空制造技术, 2008(14):45-47.
- [4] 陈阳平, 谢强, 于春江. 基于 AAB 层次树的数字样机空间区域计算与搜索方法. 南京航空航天大学学报, 2009, 41(4):540-554.

(责编 亿霖)