

基于上下文区域的飞机数字样机审查方法

Aircraft DMU Review Method Based on Context Zone

中航工业第一飞机设计研究院 王小艳 屈卫刚 李欢

[摘要] 为了提高数字样机审查的效率和质量,改善传统的审查方式,提出一种基于上下文区域的飞机数字样机审查方法,确保审查过程的规范性、可追溯性,同时缩短了审查周期并提高了设计质量,实现了飞机数字样机的数字化协调审查。

关键词: 飞机 数字样机 审查

[ABSTRACT] To improve the efficiency and quality of aircraft DMU review, and to reform the traditional review way, a new method is brought forward based on context zone. The process of review is assured traceable, at the same time, the cycle is shortened, the quality is improved, and digital coordination review of aircraft DMU is realized.

Keywords: Aircraft DMU Review

飞机设计是个系统工程,随着设计过程的推进,总体布置、结构设计、管线设计在审查协调过程中不断迭代和完善^[1],设计过程中各专业的协调审查结果是设计进行迭代的依据,对审查结果的管理就变得尤为重要。飞机数字样机审查主要是检查上下文区域内的各个系统与结构的协调性,解决在什么节点、由哪些人员、按怎样的步骤、对什么数据、如何审查分析,并将问题和决策信息以什么样的方式反馈给设计人员修改^[2]。实际研制过程中,飞机设计的各部门在建立全机数字样机后,样机审查还未进行流程化、规范化管理,多数还采用自主协调、手工记录、各自保存审查结果的方式,并且审查结果是否落实完全依靠设计师的自觉性。因此需要建立一套完整的方法和流程规范数字样机审查过程,确保设计阶段数字样机协调更改可追溯。

本文综合国内航空领域近年来应用数字样机的技术经验,参照传统的样机审查过程,提炼关键环节进行技术研究,提出了基于上下文区域的飞机数字样机审查的初步解决方案。从数字样机审查的上下文区域划分开始,对区域内的上下文关联数据进行审查,建立样机审查结构树保存与管理审查数据,建立审查流程审批审查数据,建立审查规划确保数字样机经过全面系统的审查,从而使整个样机审查过程完整地记录了设计过程的

更改迭代。

1 数字样机审查上下文区域划分

飞机数字样机设计采用全三维关联设计方法^[3],在全三维关联的上下文环境中,开展总体协调、干涉分析、运动机构分析、维修性分析、人机功效分析等审查工作,不同角色的人员都能在一个逼真的、可配置的三维可视化的上下文区域环境中进行数字样机的设计审查。

数字样机上下文区域是样机审查的载体,区域划分的方式有多种,包括 AABB (Axis Aligned Bounding Box) 区域^[4]、球形区域、Zone 区域等。

(1) AABB 区域是一个长方体,其长、宽、高与产品全局坐标系 X 、 Y 、 Z 3 个坐标轴平行。因此,其左下角和右上角 2 点坐标就决定了一个区域,见图 1。其点序列的表达为: $\langle A, A' \rangle = \langle (x, y, z), (x', y', z') \rangle$, 其中, $x < x', y < y', z < z'$ 。通过 2 个点可以确定一个飞机设计的上下文区域,每一个审查工作仅选取需要的区域,而不需要加载整个飞机的三维数模。

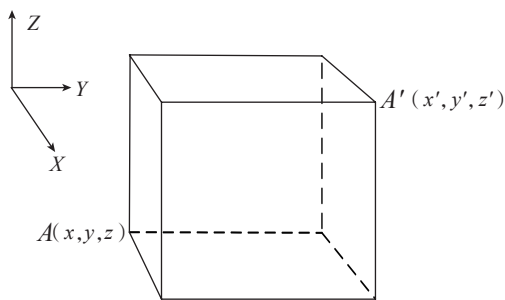


图1 AABB区域示意图

Fig.1 Diagram of AABB region

(2) 球形区域定义圆心、半径,在画好的球形区域中,可以选择全部在其中的区域、部分在其中的区域、不包含部分在其中的区域、不在其中的区域,通过球形区域划定一个审查区域。

(3) Zone 区域参考飞机产品结构的设计分离面或者工艺分离面的边界划分,引用分离面或者划分边界的坐标位置,在审查之前建立好 Zone 区域,审查时能够选定某一个 Zone 区域内的全部零部件。

数字样机的上下文区域选取时,能够基于不同设计

方案、不同架次叠加上述的区域选取方式。上下文区域划分结果作为审查对象能够保存和调用,并和零部件产品结构树为同一数据源,设计人员不仅能够准确、快速地加载所关注区域内的上下文全三维模型,而且能够利用模型的链接关系进行关联影响性分析,并应用关联设计方法实现对设计数据的快速更改。

2 数字样机审查结构树建立

建立样机审查结构树管理审查数据,样机审查结构树及所有的审查数据作为设计修改模型的参考和依据永久保存。数字样机审查在设计数据达到一定成熟度时进行,审查结构树的建立参照样机审查数据层级的划分,样机审查层级和样机设计过程保持一致。飞机关联设计过程中,建立骨架模型展开设计,完成结构零组件设计、大部件装配设计、管线设计等,依次进行零组件级审查、部段级审查、整机级审查。

(1) 零组件级审查是在专业室内部进行的审查,由零组件的设计者以零组件为单位对零件的设计质量、组件的相关协调性等进行审查,对此类审查不进行流程控制,由设计者自行完成。

(2) 部段级审查包含专业内部段的审查、部段间的审查和不同专业部段内的审查,在零组件级审查完成后进行。如:机头设计专业对机头的审查,机头和前机身之间的审查,机头结构和机头航电系统进行的审查等。

(3) 整机级审查是部段级审查完成后对飞机全机的协调性进行的审查,包括多个专业的大部段的协调性审查、整机级的协调性审查。

数字样机审查结构树中包含多个审查层级,每个审查层级中包含多个审查数据。数字样机审查数据是包含审查结果、干涉分析结果、标注等的结论性数据,审查数据有以下2类,分别为应用CATIA等全三维建模软件进行干涉分析、运动机构分析生成的数据以及应用DELMIA仿真软件进行维修性审查、可达可视性审查等生成的审查文档。飞机审查结构树作为根节点,审查层级组成了主干节点,审查数据组成了叶子节点,审查结构树伴随着飞机设计成熟度的提升而不断扩充,完整地记录和管理整个样机审查过程。

3 数字样机审查流程控制

为了避免协调人员由于时间和空间限制引起的交流不及时、更改不及时和协调步调不一致、协调结果未落实等可能引起的质量问题,采用电子化的审查流程控制审查过程,简化协调流程,缩短协调时间,提升三维设计模型的质量。

飞机设计采用全三维关联设计方法,所有零组件采

用全局坐标定位。数字样机审查时选取上下文区域,使用可视化和参数化的检查方法,审查零组件的空间占位是否存在碰撞、重叠等,是否影响产品的装配和功能,分析运动过程中零组件是否发生碰撞、运动轨迹及包络空间是否满足设计要求等。

审查过程中发现问题时,首先与设计进行协调更改,如果有重大问题则需要进行决策,由项目决策IPT团队提出解决方案,由审查员在带有关联关系的上下文区域中进行标注,形成审查数据,审查数据包含的三维模型几何信息、审查结果信息和标注信息等内容,用于指导设计进行协调更改。整个审查过程可控、可追踪。数字样机审查的业务流程如图2所示。

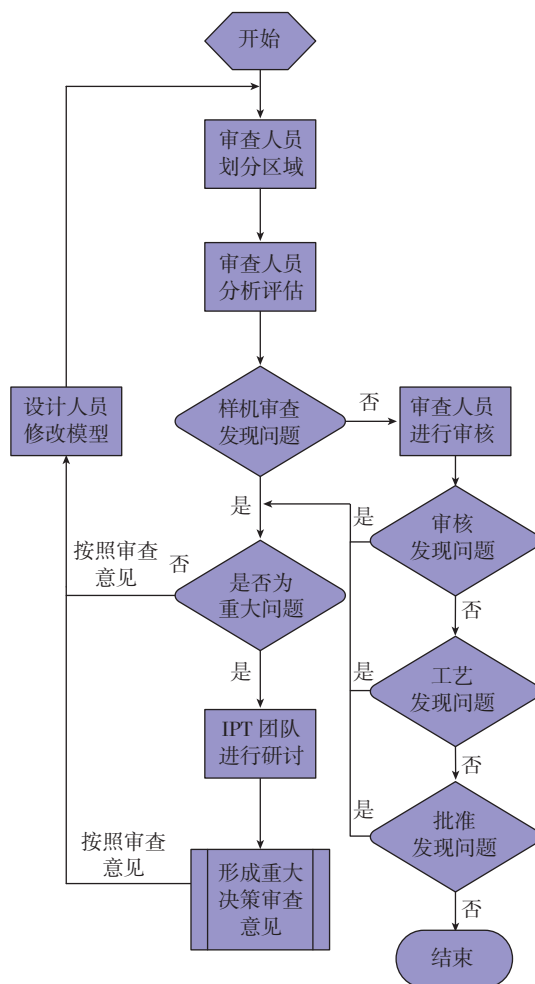


图2 数字样机审查业务流程图

Fig.2 Business flow chart of DMU review

(1) 审查人员划分区域:以零部件产品结构树中上下文的数据为唯一数据源,划分上下文区域,调入需要审查的三维模型准备进行分析评估。

(2) 审查人员分析评估:分为人工手动分析与系统自动分析。人工手动分析主要依靠人的工程经验,如系

统安全性、人机功效方面分析。系统自动分析由计算机自动完成,如干涉分析、运动机构分析。对于样机审查过程中发现的问题,如数据模型状态不一致、系统安装不协调、零部件运动干涉、系统功能不满足要求、部件维护性不好等,由审查人员进行分析评估需要处理的问题。

(3)样机审查发现问题:审查人员分析评估发现问题时,与零组件设计员协同提出解决方案,无分歧时由审查员形成审查意见,设计人员根据审查意见进行模型更改,更改完成后,再次进行审查,整个流程直至审查通过,所有问题归零。

(4)重大问题决策:如果在审查协调过程中出现重大分歧,需提交项目决策 IPT 团队研讨并进行最终决策,提出问题的解决方案,由审查员形成详细的审查意见,设计人员根据审查意见进行模型修改,所有问题归零后审查决策过程结束。

(5)审查未发现问题:审查人员提升流程,经过审核、工艺、批准后审查工作结束。如果其中哪个环节发现审查不全面、审查有漏洞等,拒回给审查员核实问题,直到问题归零。其中工艺由工厂的工艺代表承担,提前介入设计审查过程,提高飞机设计数据的可制造性。

4 数字样机审查规划建立

为了确保样机审查过程中所有专业内、专业间的数据都经过审查,建立样机审查规划,由每个专业列举需要审查的内容,按照审查规划由相应的审查员进行样机审查工作。审查规划各专业建立,通过审查规划保证样机审查的完备性并掌控审查的执行情况。审查规划是个文档,内容见表 1,建立后作为叶子节点链接在审查

表1 样机审查规划格式说明

序号	审查上下文区域	审查层级	审查类型	审查工具	审查流程			
					审查人员	审核人员	工艺人员	批准人员
1	机头审查	部段级审查	干涉分析	CATIA	SCXXX	SHXXX	GYXXX	PZXXX
2	机头和前机身对接审查	部段级审查	干涉分析	CATIA	SCXXX	SHXXX	GYXXX	PZXXX

结构树中进行管理。

(1)审查上下文区域指用于审查的上下文区域。

(2)审查层级指进行零组件级审查、部段级审查、整机级审查。

(3)审查类型指干涉分析、运动机构分析、拆装分析、舱门口盖分析、可达可视性分析、维修性分析、人机功效等。

(4)审查工具指审查时应用的 CATIA、DELMIA 等工具。

(5)审查流程指从人员—组织(Person—Organization, P&O)中指定审查人员,指定主任师作为审核人员,从工厂指派工艺代表作为工艺人员,相关专业的副总师作为批准人员。

5 飞机数字样机审查方法比较

基于上下文区域的飞机数字样机审查方法通过划分上下文审查区域、建立审查结构树管理审查数据、规范审查流程、建立审查规划,使飞机的审查协调决策过程完全可控。通过规定审查节点,使结构设计数据尽早为管路线缆相关设计人员使用,缩短结构数据与管路线缆数据的发图间隙;在审查流程中,工艺人员尽早参与设计协调与审查,提高飞机设计数据的可制造性,减少

表2 飞机数字样机审查方法效果对比

序号	功能及维度	传统审查方法	基于上下文区域的飞机数字样机审查方法
1	审查数据选取	大量冗余数据下载到本地,数据模型太大,难以打开	在线实时进行上下文区域审查,保证数据实时性和一致性,上下文区域数据较小,打开便捷
2	数据关联设计	本地数据无法与上下文区域关联,难以实现关联设计更改	上下文区域在线实时审查、标注、更改,实现在线关联设计
3	审查流程	由设计人员掌控,无统一流程	根据业务流程定制审查流程,流程规范、统一
4	审查结果	未形成统一的审查结果数据,由设计人员本地保存或仅口头通知协调	审查结果统一存储在审查结构树中,在数据库中统一管控,便于保存和追踪
5	协调结果落实	由设计人员掌控	协调结果通过流程管控进行落实,设计人员随时查看协调结果落实情况
6	协调更改后再审查	设计数据更改后是否再进行审查由设计人员掌控	协调更改完成后由流程管控,必须进行再审查
7	审查的完备性	总体、结构、系统设计人员根据需要审查,缺乏系统性	在零件到达一定成熟度后层级审查,并在审查规划中列举所有审查内容,确保审查内容不遗漏,保证数字样机全面经过审查

(下转第 137 页)

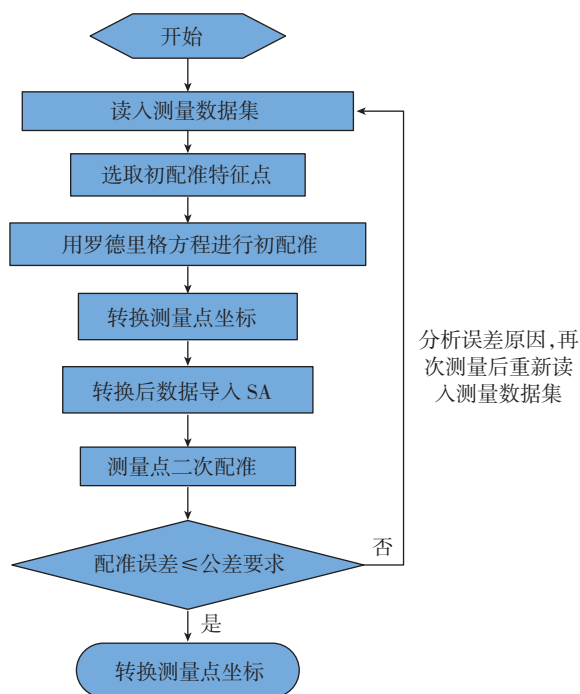


图9 测量数据配准流程

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。

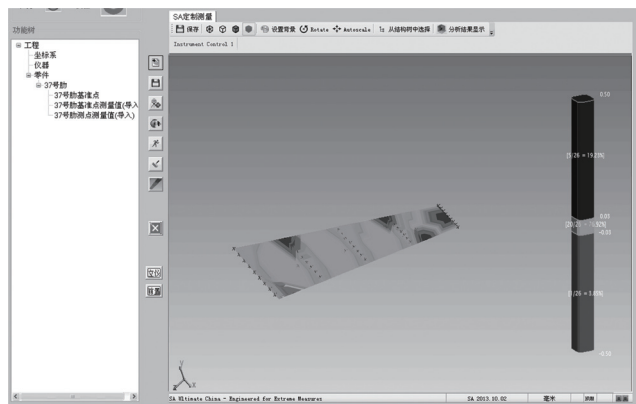


图10 分析结果

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)