

基于 Simcenter3D 的舱门刚柔耦合动力学仿真分析

吴扬¹, 吴胜同², 裘旭冬¹, 王楠², 王鹏飞², 秦强²

(1. 上海飞机设计研究院, 上海 201210; 2. 上海无线电设备研究所, 上海 201109)

摘要:采用 NX Simcenter3D 软件建立舱门刚柔耦合动力学模型, 得到各构件的运动数据及路径, 并与实物模型对比调试, 以保证该设计方案的可行性及安全性能。解得每一运动副各时刻所传递的力与转矩, 确保舱门开启时所用手柄力矩大小及移动轨迹满足舱门使用需求。对舱门结构关键部位建立柔性体, 创建动态耦合模型, 对薄弱部位进行仿真分析、计算刚度与强度校核, 为舱门机构的改进设计提供依据。

关键词:舱门机构; 多体动力学; 刚柔耦合; 模拟仿真

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-5276(2021)05-0129-03

Simulation Analysis of Rigid and Flexible Coupling Dynamics Model Based on Simcenter 3D

WU Yang¹, WU Shengtong², QIU Xudong¹, WANG Nan², WANG Pengfei², QIN Qiang²

(1. Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China;

2. Shanghai Radio Equipment Research Institute, Shanghai 201109, China)

Abstract: The rigid and flexible coupling dynamics model of the cabin door established via NX Simcenter3D software was used to obtain the motion data and paths of each member, and the comparison and debugging with the real model were conducted to ensure the feasible and safe performance of the design scheme of the cabin door mechanism of this type of aircraft. The force and torque transmitted by each motion pair at each moment were solved to ensure that the handle torque applied upon door opening and its movement trajectory met the use requirements of the hatch door. The flexible body of the key parts of the cabin door structure were established, the dynamic coupling model was created, the weak parts were simulated and analyzed, the stiffness and strength were calculated and checked, which provided the basis for the improved design of the cabin door mechanism.

Keywords: aircraft door mechanism; multi-body dynamics; rigid-flexible coupling; simulation

0 引言

飞机舱门是用于进出机舱的可开关重要组件, 具有功能要求严格、运动关系复杂、部件多、空间狭小等特点。多数部件作为机构的一部分参与运动, 同时在运动过程中传递力与转矩, 实现舱门的打开与锁闭。所以要求舱门机构在运行过程中, 在克服外力作用传导转矩的同时也要满足运动功能要求。基于多体运动学的方法对舱门进行仿真分析与优化是国内外设计工作的主要方法^[1]。

随着现代飞机对可靠性以及安全性能要求的不断提高, 在舱门的方案设计阶段建立刚柔耦合动力学仿真模型显得十分必要, 在机构开启过程进行动力学仿真, 得到机构集中力变化, 构件传力性能以及应力、应变状态, 为机构的优化改进以及零件的参数确定提供依据^[2]。

关于含柔性件的刚柔耦合动力学仿真, 部分学者进行了相关研究。张锐等通过刚柔耦合对起落架开度进行了研究^[3]; 谷长河等应用 LMS 对解锁抬升机构进行了分析^[4]; 袁强飞应用 ADAMS 对机构卡滞载荷进行了相关分

析实验^[5]; 王文浩等对门锁机构进行了动力学仿真分析^[6]。对舱门整体进行刚柔耦合, 可以输出柔性部件相对于整个舱门机构的运动功能及传力特性。

1 飞机舱门机构组成

某型号舱门模型如图 1 所示, 其工作过程可描述为: 机务人员转动手柄使舱门沿着门框上的导轨做提升运动; 当提升至正确位置后机构被锁定, 向外推动舱门, 舱门在主铰链臂以及上方两平衡杆的作用下做平移运动, 打开过程中始终保持舱门与机身的平行关系; 当运动到正确位置后舱门由阵风锁锁定。舱门机构的主要功能为保证舱门正常安全的上锁、解锁以及按照预定的轨迹打开。

舱门运动机构可简化分为提升四杆机构以及助力四杆机构。提升四杆机构实现舱门的提升运动, 通过转动手柄连杆带动舱门下摇臂转动使舱门向上提升, 以主铰链臂十字铰为提升支点, 同时舱门两侧的滚轮在门框架上的导轨内沿着预定的轨迹运动。助力四杆机构可以将下放扭杆弹簧的转矩传递到提升机构, 实现助力作用, 以克服舱

第一作者简介: 吴扬(1982—), 男, 辽宁本溪人, 高级工程师, 硕士, 研究方向为复合材料结构设计、机构功能试验。2008—2013 年参与大型客机研制, 负责 C919 副翼、扰流板的结构设计工作。2010 年开始负责机构功能实验室工作, 目前主要从事机构功能试验技术研究, 包括运动机构仿真试验、试验设计、控制与测量等技术研究。

门重力、密封袋压缩力、机构间摩擦力等。

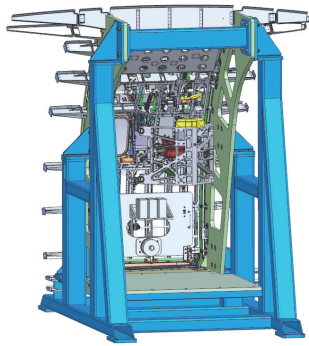


图1 某型号舱门总装模型

2 舱门系统刚柔耦合分析主要考虑因素

为了验证舱门设计方案的可行性,本文主要针对以下重要因素对舱门进行刚柔耦合动力学分析。

1)控制舱门手柄驱动力矩以及变化状态:根据要求,舱门提升所施加的手柄力以及驱动力矩应处于合适范围,且变化平稳,提升过程流畅,保证机务人员的可操作性,不会产生过大的负担。

2)关键部件应力、应变状态:由于部分关键部件在运动过程中总是承担传递运动以及转矩的任务,极易发生变形,变形叠加会影响舱门功能。通过刚柔耦合监控舱门运动过程中部件的状态变化,提高系统的安全性与可行性。

3)舱门运动轨迹:舱门在打开过程中,应保证舱门与机身始终保持平行的状态。为了验证舱门是否位于正确的运动路径,通过动力学仿真确定舱门运动路径的准确性。

3 舱门刚柔耦合仿真分析方案

舱门刚柔耦合动力学仿真在 Simcenter3D 平台中完成。通过 Simcenter3D Motion 模块定义刚体及运动学模型,并由 NX Nastran 求解器对 Simcenter3D 中分析的刚体模型柔性化,从而完成整个机构的刚柔耦合动力学分析。舱门动力学分析流程如图2所示。

舱门的主要传力部件包括连杆、传力杆和导轨等,结构变形也主要发生在上述部件。因此,刚柔耦合动力学分析过程如下:将舱门三维模型导入 NX 之后,转入 Simcenter3D 运动仿真模块,定义运动体,同时利用其前处理功能 NX Nastran 求解器对考虑变形的部件进行网格划分,并对各个部件进行模态分析;随后将柔性体结果文件导入运动模块中作为柔性体,并且施加载荷、约束、运动副等,对运动学模型进行求解,完成舱门的刚柔耦合分析^[7]。

3.1 刚柔耦合动力学建模

由于初建的舱门模型不具有物理意义(包括各零部件的质量,转动惯量等),将各个零部件添加至

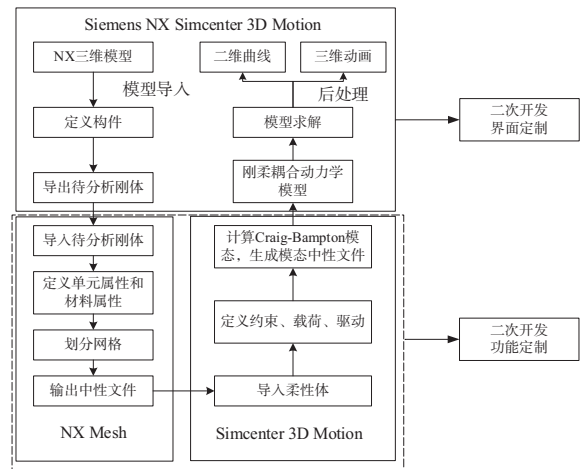


图2 舱门动力学分析流程

Simcenter3D 中定义为运动体,并创建运动体之间的运动关系,保证舱门具有正确的运动轨迹。

舱门运动体定义完毕后,对其施加运动副及相关约束,凸轮杆相对舱门的转动关系为驱动,对舱门内部齿轮箱、提升机构、助力机构、门锁机构及门闩机构等机构按照其实际运动关系定义约束,保证舱门具有合理自由度。

舱门约束定义完毕后,对其受力情况定义载荷,舱门受载荷情况分为重力、弹簧力、密封带压缩力等。舱门的重力可由 Simcenter3D 系统对单个机构重力模拟叠加而来,对于重力按照标准数值施加。对于弹簧力,由于实体弹簧模型模拟弹力计算量较大、计算时间长,同时不便调整弹簧相关弹性系数,仿真中利用滑动副虚拟弹簧代替,简化模型的同时,便于调参。

舱门在开关过程中与密封带的压缩为均匀压缩,在舱门四周均匀密布,可将密封带压缩力由弹簧弹力进行模拟(图3),其压缩量由舱门中心与舱门弧线圆心之间的半径差来确定。由于密封带的压缩力随着压缩量的增大而增大,压缩量与压缩力之间的曲线为非线性曲线,仿真中其关系由函数线段模拟。

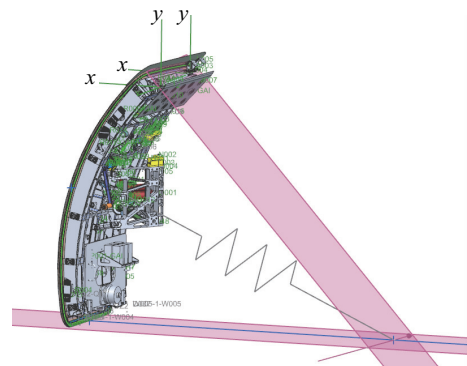


图3 模拟密封带压缩力

3.2 柔性体模型的建立

运动体构建完成后,将需要考虑变形的部件由

Nastran 求解器进行网格划分,定义弹性模量、泊松比等材料属性以及网格大小、网格类型等单元属性,最终生成.op2结果文件,创建 Simcenter3D 中的柔性体。

以主铰链臂为例,考虑其变形将它定义为柔性体,进行约 20 阶模态分析^[4],其有限元网格模型以及模态分析模型如图 4 所示。

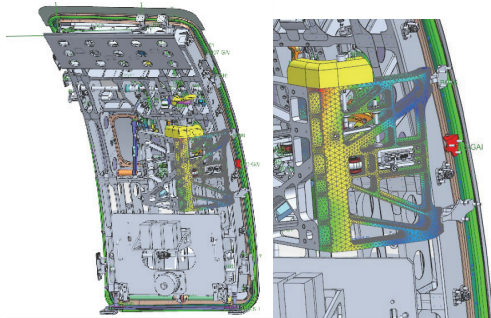
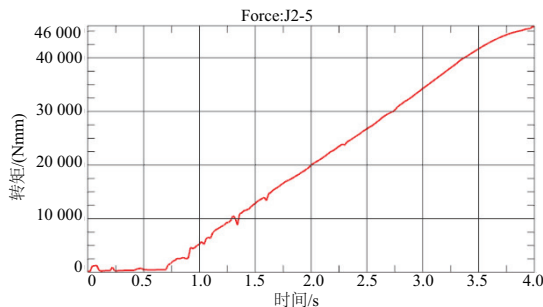


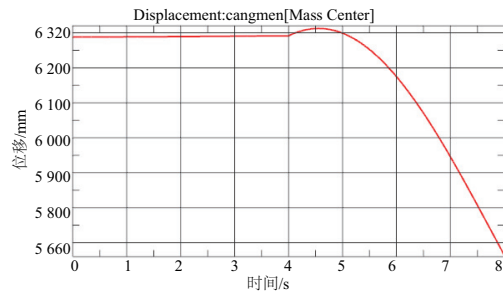
图 4 刚柔耦合模型

多体动力学刚柔耦合仿真原理为计算柔性模态,而模态是材料结构的固有振动特性,每一个模态具有特定的固有频率、阻尼比和模态振型。通过计算各个构件的模态特征,可以预见在该振动频率阶段各种外部或者内部振源作用下的实际振动响应。

舱门刚柔耦合运动学模型建立后可以求得机构之间的转矩、速度位移变化曲线和应力、应变云图。例如,针对现有模型求解得出手柄转矩曲线以及位移变化曲线等(图 5),手柄转矩的最大值如图 5(a)所示。



(a) 手柄转矩曲线



(b) 舱门位移曲线

图 5 手柄转矩及舱门位移变化曲线

4 结语

针对舱门设计,通过刚柔耦合动力学仿真是其中不可或缺的一环。为得出舱门部件应力集中以及运动变化情况,通过 Simcenter3D 建立舱门刚柔耦合模型,对其运动情况进行分析,得出相关参数变化范围,对机构打开、关闭过程进行刚柔耦合动力学仿真,得到机构的交点力、传力特性以及应变状态,从而为机构交点的优化改进和零部件的参数确定提供依据。

参考文献:

[1] 范东. 飞机舱门动力学仿真分析[C]// 2013 年中国航空学会结构强度专业学术交流会论文集, 三明:2013:255-260.

[2] 秦增, 万方义. 基于杆件柔性的舱门机构动力学特性影响分析[J]. 机械与电子, 2013, 31(11): 15-19.

[3] 张锐, 聂宏, 印寅, 等. 飞机起落架舱门刚柔耦合开度分析[J]. 江苏航空, 2011(增刊 1): 4-6.

[4] 谷长河, 屠强, 童明波. 基于 LMS 的登机门解锁抬升机构动力学分析[J]. 航空计算技术, 2016, 46(1): 74-76, 81.

[5] 袁强飞. 飞机舱门机构卡滞柔性仿真与试验分析[J]. 中国科技信息, 2017(13): 27-28.

[6] 王文浩, 高明亮. 飞机舱门锁机构动力学仿真分析[J]. 航空科学技术, 2014, 25(12): 30-34.

[7] 冯琳娜, 崔卫民, 喻天翔. 基于 LMS 的舱门机构中曲杆的疲劳寿命仿真分析[J]. 机械与电子, 2010, 28(6): 21-25.

收稿日期:2020-11-23

(上接第 105 页)

3) 由摆线轮各阶振型可以看出, 摆线轮的中间部分受力远小于摆线轮边缘部分的受力, 说明摆线轮边缘部分在循环载荷下发生疲劳破坏的可能性更高。

参考文献:

[1] 何卫东, 吴鑫辉. 机器人用 RV 减速器模态分析与试验[J]. 机械设计, 2016, 33(11): 72-76.

[2] 肖君君, 何卫东. RV 减速器摆线轮的有限元模态分析[J]. 机械工程师, 2009(9): 46-47.

[3] 佟佳岩, 蔡慧明, 李可. 基于有限元的 RV 减速器主要零件模态仿真分析[J]. 机械制造, 2017, 55(11): 58-61, 64.

[4] 陶文东. 基于有限元的 RV 减速器主要零件模态仿真分析[J]. 轻工标准与质量, 2018(2): 75, 79.

[5] 李净, 陈扬. 基于模拟直齿轮啮合模型的齿根强度分析[J]. 船舶工程, 2013, 35(2): 59-62, 95.

[6] 潘洋宇. 基于 UG NX 和 ANSYS 的减速箱渐开线圆柱齿轮有限元

分析[J]. 科技资讯, 2011, 9(5): 110-111.

[7] 刘强, 杨荣松, 陈志亮, 等. RV 减速器输入齿轮与正齿轮传动的有限元接触分析[J]. 制造业自动化, 2016, 38(3): 25-27.

[8] 黄振锋, 梁顺可, 唐子坚, 等. 基于 ANSYS 软件的 RV 减速器有限元分析[J]. 机械制造, 2019, 57(2): 9-11, 20.

[9] 徐宏海, 王文涛, 刘学翱, 等. RV 减速器工作频率理论计算与 ADAMS 仿真[J]. 机械传动, 2015, 39(7): 38-41, 46.

[10] 吴俊飞, 刘瑞青, 邵珠文, 等. 基于 ADAMS 的 RV 减速器虚拟样机分析[J]. 机械制造, 2017, 55(10): 24-27.

[11] 华顺刚, 余国权, 苏铁明. 基于 ADAMS 的减速器虚拟样机建模及动力学仿真[J]. 机械设计与研究, 2006, 22(6): 47-52.

[12] 周欣. 基于 UG 的 RV 减速器虚拟样机设计与运动仿真分析[J]. 机床与液压, 2018, 46(23): 168-171, 176.

[13] 位云成, 张杰. 机器人用 RV 减速器传动误差的测试[J]. 机械制造与自动化, 2016, 45(2): 167-169.

收稿日期:2020-09-28