

# 案例分析：空中客车公司

## 采用 Adams 仿真技术取代样机试验，可节约 300 万欧元飞机认证费用

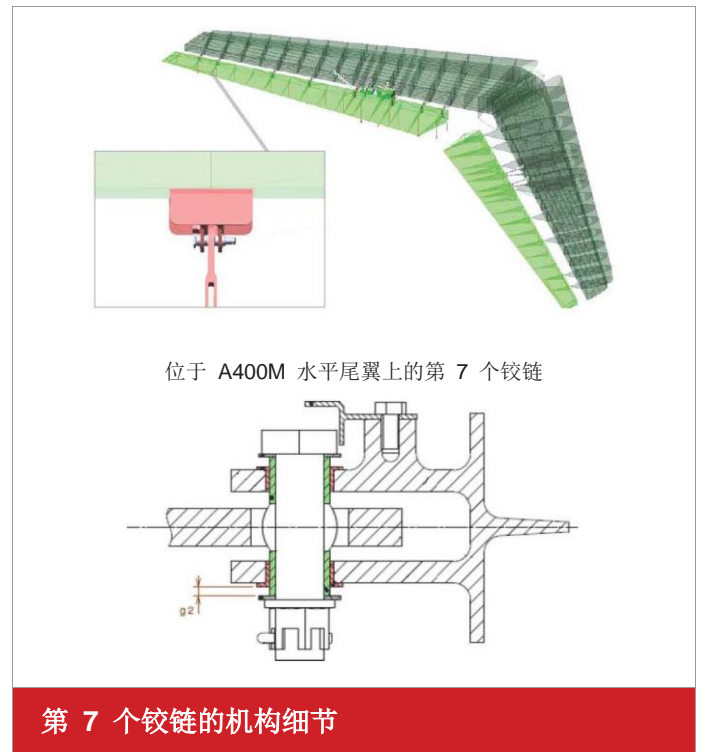
根据对以下人士的采访：

Ulli Landwehr，空中客车公司多体仿真分析师

Michael Vetter，空中客车公司多体仿真项目主管

### 概述

机身设计应能承受航行过程中重力载荷和气动响应所造成的变形。变形反过来又会对嵌在机身上的机构产生载荷，造成用于操纵飞机的主飞行控制面移动。机身制造商必须确保飞行包线内任意一点处的机构变形都不会影响其操作。例如，空客 A400M 的升降舵通过八个铰链与水平尾翼（HTP）相连，在机翼不变形的情况下可形成一条直线。其中七个铰链是浮动铰链，可沿铰合线方向浮动。当 HTP 结构受载时，它会变形，并导致铰合线变形。本文的多体仿真（MBS）模型给出了用于移动升降舵的第 7 个铰链的位置，并在模型下方的图纸中给出了铰链的横截面。图纸中的间隙  $g_2$  使得红色凸缘能在绿色销轴上滑动。



# “用飞机控制面变形影响仿真技术取代A350-1000 样机机翼弯曲试验，可为空中客车节约三百万欧元，并将 A350 的认证过程缩短 4 个月。”

Michael Vetter，空中客车公司多体仿真项目主管

## 挑战

欧洲航空安全局（EASA）CS-25 规范第 683 (b) 节要求机身制造商证明，用来操纵飞机的主飞行控制面不会由于飞机结构的变形而产生挤压、过度摩擦、脱离以及任何形式的破坏。在过去，空中客车会通过为每种型号的新飞机修建试验台，根据作用在机身上的作用力使结构总成出现翘曲，从而验证是否满足这一要求。最大的试验台足以装上宽体飞机的机翼，为了逼真再现飞行期间所能遇到的各种作用力，需要在许多不同的位置对结构施加作用力，因此设计极为复杂。试验台造价高达数百万美元，历时数月才能建成，进行试验还需要耗费大量的时间、金钱。这种方法的局限性之一是只有在详细设计结束且飞机样机完工之后，才能开始进行试验。在设计过程后期对试验所发现的问题进行更正时，代价往往非常高昂。另一个局限性是样机试验需要投入大量的时间，因此会严格限制测试工况的数量和组合形式。

## 解决/验证

空中客车的管理团队决定尝试将规范合规性验证方式从样机试验改为仿真。Adams 多体仿真（MBS）软件由于能够对复杂机构进行建模并可与有限元模型联合仿真预测机身变形而被选中。空中客车多体仿真团队决定对 A400M 水平尾翼铰链进行仿真，对承受载荷的铰链 7 中的间隙 g2 进行预测，而该数据以前是通过样机试验获得。

采用与真实试验相同的边界条件建立 Adams 多体仿真。建立了 HTP 以及左右侧升降舵的 MSC Nastran 有限元模型。分别针对每个柔性体导出了模态中性文件（MNF），并将其与 Adams 模型结合在一起。MNF 文件由用物体坐标表达的所有边界模式以及用模态坐标表达的部分弹性模态组成。HTP 的有限元模型约有 35,000 个自由度（DOF），而 MNF 所定义的柔性体仅有约 100 个自由度，在解算过程中显著节约了时间。

采用空中客车内部的 CFD 程序确定各种飞行状态下机翼上的压力。

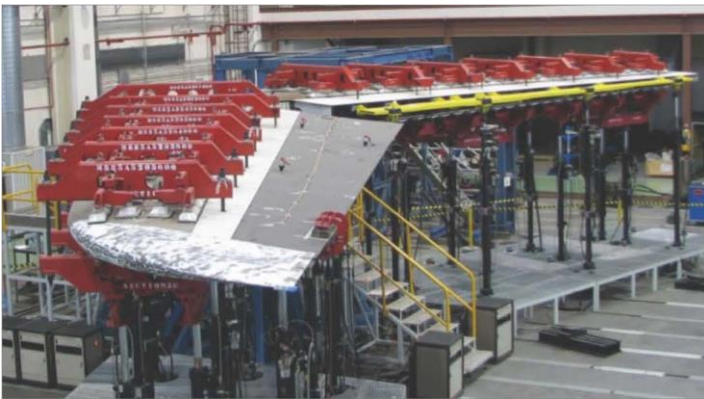
## 主要亮点：

产品：Adams

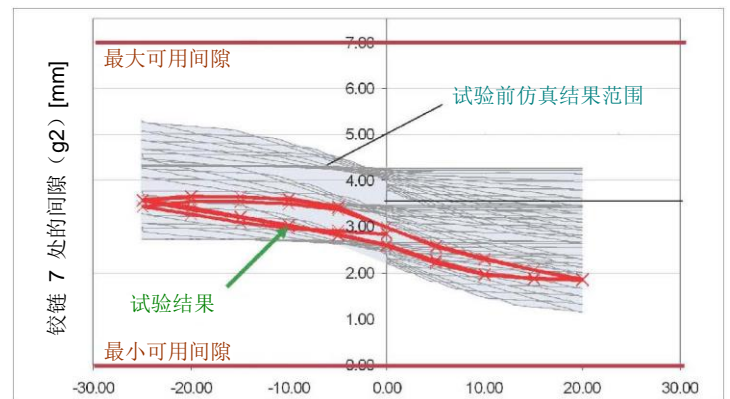
行业：航空航天

### 优势：

- 用 Adams 仿真取代昂贵的实物试验，大幅节约了时间和成本
- 不同于在样机试验台上进行试验，测试工况的数量和组合形式可不受限制
- 仿真结果能成功地与所有的试验进行关联
- 这些结果让欧洲航空安全局（EASA）认识到，可以用 Adams 仿真来取代功能试验，因此采用仿真来认证 A350-1000 XWB 机翼



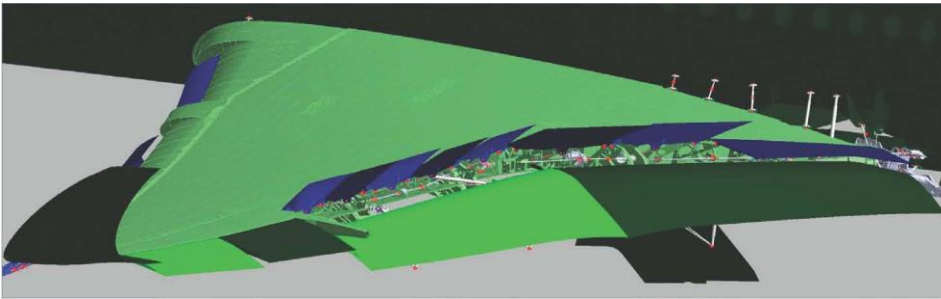
用来测试水平尾翼上铰链的试验台



以灰色显示的仿真结果与以红色显示的试验结果非常吻合



A350-1000 XWB 左翼有限元模型，不包括控制面



A350-900 XWB 左翼多体仿真模型，包括所有的控制面

在 Adams 模型中将这些载荷转换为作用力。Adams 模型对飞行条件下的控制面变形以及对铰链的影响进行仿真。将某些参数在确定的限值范围内变化，例如凸缘与销轴之间平移的摩擦系数以及多个关键尺寸的制造误差，并结合拉丁超立方体方法，可产生 500 种不同的参数值组合。

针对这 500 种不同的组合对 MBS 模型进行解算，然后对每轮的升降舵偏转角所计算出的间隙进行评估。附图中以灰色显示了参数变化所得出的试验前仿真结果范围。

附图中以红色显示试验结果，它们在预测范围内非常吻合。通过对 A400M 方向舵、A380 升降舵、A380 副翼及 A350-900 1g 机翼弯曲试验进行不同的仿真，使这一方法获得了进一步的验证。空中客车公司的多体仿真分析师 Ulli Landwehr 说：“采用功能试验仿真，不仅能证明整个控制面总成及主辅结构符合所有的要求，其中包括挤压、过度摩擦、脱离以及任何形式的破坏，还能检查总成的系统级兼容性。仿真结果能成功地与所有的试验进行关联。

这些结果让欧洲航空安全局认识到，可以用多体仿真取代功能试验，因此采用仿真来认证 A350-1000 XWB 机翼。”

A350-1000 XWB 左翼的有限元模型约有 5,000,000 个自由度，而在 MBS 柔性体中降至 1,000 个自由度。MBS 模型包括所有的主辅控制面及起落架。所有的活动件和机翼均可气动加载，且所有活动件都被激励。可使用该模型来显示是否符合 CS 25 规范第 683 (b) 节的要求，还可以装配、预先成形并预测机翼的巡航外形。由该模型预测的巡航外形能成功地与来自 A350-900 XWB 飞行试验工作的机翼变形测量数据进行关联。

## 结果

空中客车公司多体仿真项目主管 Michael Vetter 说：“用飞机控制面变形仿真技术取代 A350-1000 样机机翼弯曲试验，可为空中客车节约三百万欧元，并将 A350 的认证过程缩短 4 个月。”其中费用、时间上的节约大多是由于无需建造试验夹具而实现的。未来的每个飞机型号都能实现类似的节约。空中客车的工程师们还致力于在飞机的其他机械系统（例如起落架和客舱门）上应用这一方法。

## 关于空中客车

空中客车的全线产品系列包括大获成功的空客系列，飞机座椅从 100 个到 500 多个；单过道 A320 系列；宽体、远距离 A330 系列；新一代 A350 XWB 系列；以及旗舰 A380。

有关 Adams 及其他案例分析的更多信息，请访问 [www.mscsoftware.com/adams](http://www.mscsoftware.com/adams)

**Corporate**  
MSC Software Corporation  
4675 MacArthur Court  
Suite 900  
Newport Beach, CA 92660  
Telephone 714.540.8900  
[www.mscsoftware.com](http://www.mscsoftware.com)

**Europe, Middle East,  
Africa**  
MSC Software GmbH  
Am Moosfeld 13  
81829 Munich, Germany  
Telephone 49.89.21093224  
Ext. 4950

**Asia-Pacific**  
MSC Software Japan LTD.  
Shinjuku First West 8F  
23-7 Nishi Shinjuku  
1-Chome, Shinjuku-Ku  
Tokyo, Japan 160-0023  
Telephone 81.3.6911.1200

**Asia-Pacific**  
MSC Software (S) Pte. Ltd.  
100 Beach Road  
#16-05 Shaw Tower  
Singapore 189702  
Telephone 65.6272.0082

**MSC Software**

The MSC Software corporate logo, MSC, and the names of the MSC Software products and services referenced herein are trademarks or registered trademarks of the MSC Software Corporation in the United States and/or other countries. All other trademarks belong to their respective owners. © 2015 MSC Software Corporation. All rights reserved.