

基于 LS-DYNA 的鸟撞飞机发动机叶片工况仿真与分析

秦宇¹ 王子昊¹ 李建品¹

(1. 北京思诺信科技有限公司)

摘要: 鸟撞飞机发动机叶片是航空常见事故,也是极端危险工况,飞机在设计阶段就需考虑鸟撞事故发生后,飞机的结构与动力保护。而鸟撞工况的实验研究成本巨大,耗时较长,仿真分析就成为研究鸟撞工况的重要手段。鸟撞问题属于复杂的非线性冲击动力学问题,具有大变形、非线性、高应变率、流固耦合等特点。本文基于 LS-DYNA 软件,采用动态显式算法,使用 ALE 方法建立鸟体模型,lagrange 方法建立飞机发动机模型,进行鸟撞工况的流固耦合仿真,对发动机叶片的损伤形式以及撞击过程中鸟体的形态变化进行了分析,得出了叶片梢部为撞击最不利位置的结论。为鸟撞飞机发动机叶片的仿真分析过程提供了参考。

关键字: LS-DYNA 鸟撞 ALE 流固耦合

一、前言:

随着我国经济快速发展,飞机数量增加,飞行航班增多,飞机鸟撞^[1]事故呈现上升趋势。来自中国民航局标准安监部门的统计,在机场地面发生危及飞行安全的情况中,鸟撞事故占事故总数的 21%。

如何预防鸟撞航空发动机,一直以来受到工程设计研究部门的高度重视。设计和研究航空发动机鸟撞防护装置,对于提高飞机飞行安全、降低航空公司财产损失、挽救旅客生命等都有很重要意义。为减少鸟撞危害,许多国家和组织都开展了大量相关研究。而且鸟撞是联邦航空局 (FAA) 对所有商用喷气式发动机的认证要求,其中最具考验的是鸟群和大鸟的撞击。一般在发生鸟撞事故后,发动机仍需要保持 75% 的动力,并且至多有一个叶片飞失以确保平衡。

早期的鸟撞研究主要通过实验进行,但这类实验是非常昂贵的,且对于经验的依赖性很强。20 世纪随着计算机的不断发展,实验数值仿真^[2]作为一种主要的鸟撞研究手段得到了广泛应用,时至今日,模拟分析在风扇叶片设计已经承担了至关重要的角色。

鸟撞问题属于复杂的高度非线性冲击动力学问题,具有高度瞬态非线性、高应变率、撞击载荷与动态响应耦合等特点。鸟撞击发动机风扇叶片时,叶片受到瞬时高强度冲压载荷,产生大变形、碎裂、流变等现象。从鸟体被切割到作用于整个风扇叶片,这个过程通常持续 2ms 到 3ms,明白这个物理过程对于在 LS-DYNA 中准确模拟鸟撞有着非常重要的帮助。

目前应用于鸟撞研究的数值建模方法主要有拉格朗日 (Lagrange) 法,光滑粒子动力学法 (Smoothed Particle Hydrodynamics, SPH), 和任意拉格朗日-欧拉 (Arbitrary Lagrange Euler, ALE) 法等。本文将采用动态显式算法,使用 S-ALE 方法建立鸟体模型,lagrange 方法建立飞机发动机模型,进行鸟撞工况的流固耦合仿真,对发动机叶片的损伤形式以及撞击过程中鸟体的形态变化进行了分析,分析了鸟撞叶片的动态响应,为发动机叶片预防鸟撞提供帮助。

二、模拟分析设置

2.1 有限元建模

2.1.1 鸟体建模

鸟的模型可以多种多样，通常来说其长宽比约为 2 到 2.5，典型的鸟体建模有椭圆体，圆柱体等。不同形状的鸟体的碰撞结果会有一些区别，但是可以忽略不计。本文使用 S-ALE 方法进行鸟体的建模。

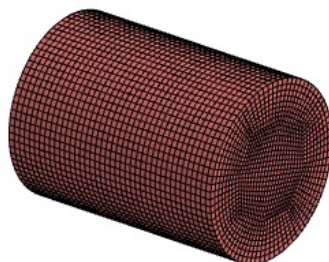


图 1 本文有限元鸟体模型图

2.1.2 发动机建模

发动机的风扇模型由机匣，轮毂和叶片三部分组成，叶片呈发散状，共由 20 个叶片组成。轮毂则采用弧面锥形薄壁结构。

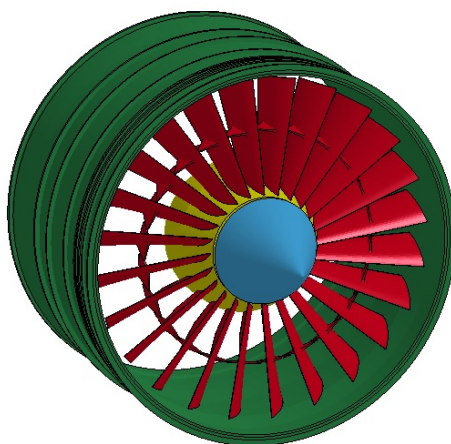


图 2 发动机叶片整体模型网格

将鸟模型与发动机叶片整体模型模型网格装配后，如下图所示，并进行 S-ALE 流体域和流固耦合的参数设置，即可提交 Ls-dyna 求解器进行分析。

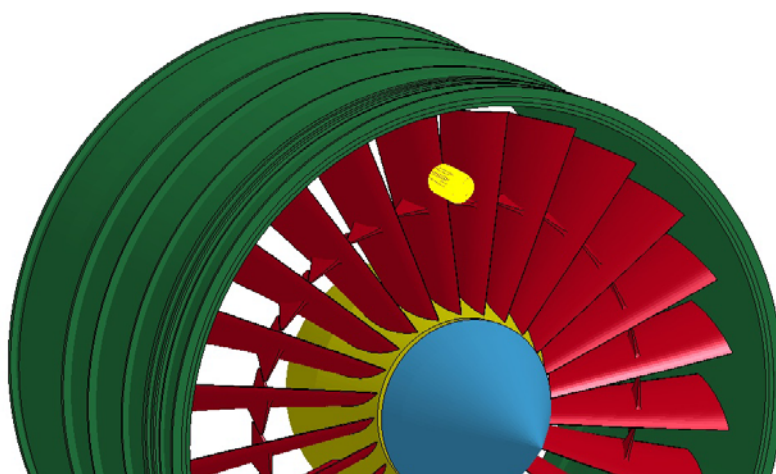


图 3 鸟撞发动机有限元模型图

三、模拟计算结果

由模拟结果的动画可以描述鸟撞叶片的过程：首先鸟体被吸入到风扇转子，第一个叶片开始切割通过鸟体，其前缘将发生变形。当鸟体通过前缘，叶身，后缘，加载的机翼表面的压力将使得叶片发生弯曲。最后，在鸟体离开叶片表面后，叶片会因尝试恢复原有的形状而发生振动，直到内部阻尼减弱其振动的程度。

风扇叶片的变形状态和损伤程度如图 4 所示：

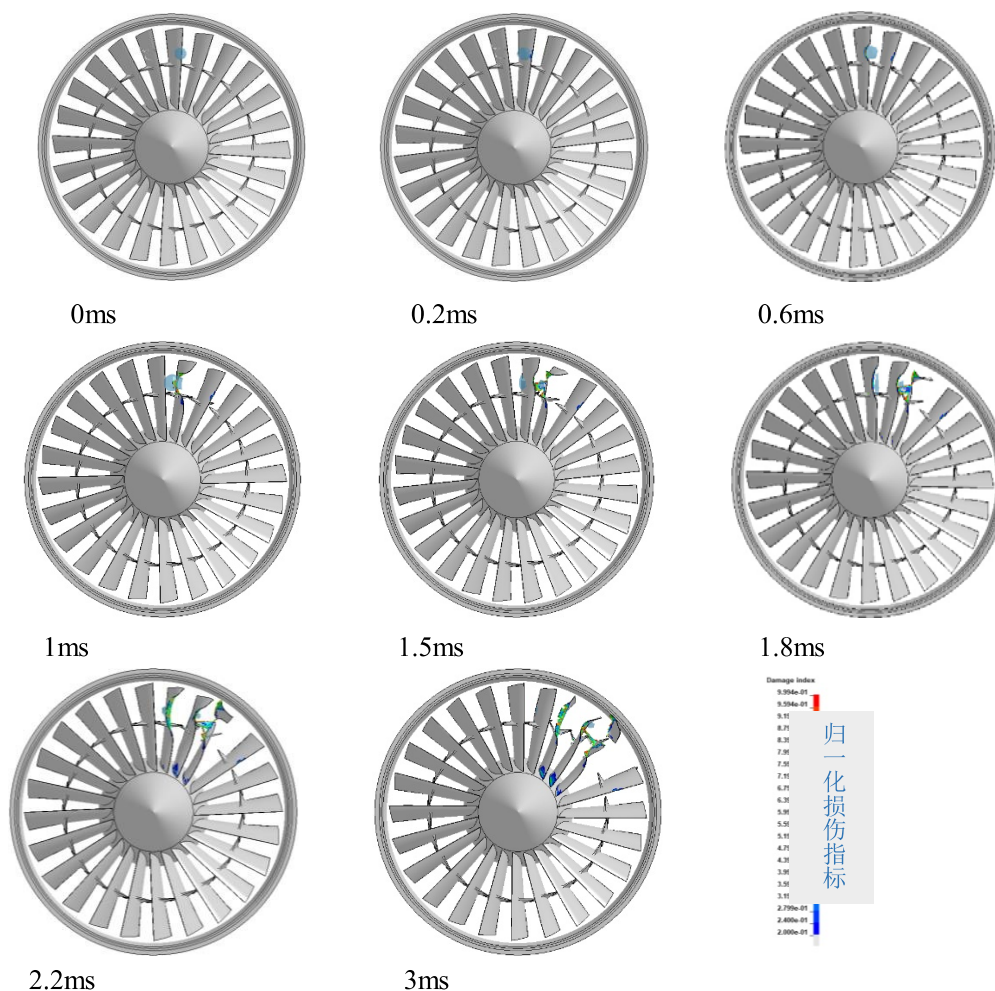


图 4 风扇变形损伤云图

由于叶片转速很高，且鸟体吸入速度也很大，叶片与鸟体的相对速度很高，在此状态下，鸟体可以看做流体状态。高相对速度下，叶片断裂飞失，会造成后续多个叶片的损伤，该现象对飞机发动机鸟撞性能有重要影响。而鸟体撞击在叶片梢部，会对根部造成较大力矩，使根部应力水平提高，有潜在失效风险。

四、总结

飞行过程中的鸟撞发动机是极为危险的工况，易造成巨大的人员和财产损失。考虑到成本因素，进行多次鸟撞实验并不实际。在实验的基础上，采用数值仿真方法分析鸟撞工况，对发动机设计分析而言，有着重要意义。通过仿真手段，可以任意查看材料的损伤形态和结构开裂情况，提取实验中无法或者难以获得的测量数据，并以此进行发动机的设计优化，提升工作效率，节约大量成本。

在后续的鸟撞发动机风扇叶片的模拟中，需要考虑到鸟体形态，叶片预应力，空气动力等，保证部件

设定的准确性，才能促进系统级别分析的准确性。

五、参考文献

- [1] 赛道建, 孙涛. 鸟撞防范概论[M]. 北京: 科学出版社, 2012.SAI Daijian, SUN Tao. An introduction to precaution of bird-strike[M]. Beijing: Science Press,2012.(in Chinese)
- [2] 陈伟, 关玉璞, 高德平. 发动机叶片鸟撞击瞬态响应的数值模拟[J]. 航空学报, 2003,24(6): 531-533.CHEN Wei, GUAN Yupu,GAO Deping. Numerical simulation of the transient response of blade due to bird impact[J].Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2003,24(6): 531-533.(in Chinese)

Simulation and Analysis of Bird Strike Fan Blade of Aircraft based on LS-DYNA

Qin Yu¹ Wang Zihao¹ Li Jianpin¹

(1. Beijing AutoCAE Technology Co., Ltd)

Abstract

Birds strike aircraft engine blades are common accidents in aviation and are also extremely dangerous. The structure and power protection of the aircraft after the bird strike accident should be considered at the design stage. The experimental research on bird strike is costly and time consuming, so simulation analysis has become an important means to study such case. The bird strike process is a complex nonlinear impact dynamics problem with large deformation, nonlinearity, high strain rate, fluid-structure coupling and so on. Based on LS-DYNA software, bird model and aircraft engine model are established using ALE method and lagrange method, respectively. Using dynamic explicit algorithm, FSI simulation are taken place to study bird strike, damage evolution of engine blades and deformation of bird body during impact are analyzed, conclusions are drawn that the blade tip is the most vulnerable position of bird strike. It provides a reference for the simulation analysis process of bird strike aircraft engine blades.

Keyword: LS-DYNA, Bird strike, ALE, FSI