

# 预测高可信度的疲劳失效

## 虚拟载荷和疲劳流程

Leading Edge Engineering, MSC Software 合作伙伴 | Wayne Tanner

许多公司已经使用FEA分析他们的结构，使用一系列静力或者惯性载荷和模态分析来验证他们的产品。这些载荷通常可以有效的工作，成功避免灾难性事件。因而，大部分公司就不再进一步仿真和预测疲劳失效。然而，在开发周期的早期就进行疲劳失效预测，可以节省数次物理原型反复测试过程所造成的时间和金钱的花费。进行疲劳失效仿真可以减少长期保修成本，可以用来优化产品结构。

本文将给读者展示虚拟载荷和疲劳分析流程的基本内容，并探讨其背后的基本假设条件。

### 载荷/疲劳分析流程概述

虚拟载荷和疲劳分析流程使用Adams多体动力学模型来计算响应和系统在操作过程中的真实载荷。这些载荷被输出到MSC Nastran的有限元模型中计算目标部件的应力强度。这些应力载荷然后通过各种疲劳算法用于计算部件的疲劳周期。这个流程如图1所示。

虚拟载荷/疲劳分析在建立物理原型机和进行物理测试之前就用于测试系统，然后和试验数据进行相互校正。虚拟载荷/疲劳分析的终极目标是改进物理测试流程。阻尼、轮胎耦合力等参数需要通过物理试验测得。

因此虚拟仿真流程需要和测试一起进行，缺一不可。在不停迭代的连续的

开发周期中，多体动力学模型和参数会越来越可信。这些模型可以用于常规分析，更重要的是可以用于分析哪些很难进行物理测试的工况和数据。虚拟模型可以得到系统任何位置的载荷、应力应变等响应。

### 循环周期

循环周期的精确度是准确预测载荷和疲劳的关键。好的循环周期定义对物理测试非常重要，并且可以帮助客户更容易的理解软件产品。

循环周期是指一系列事件，如路谱、加载、挖掘、拖拉等，包含典型的加载过程，反映产品的生命周期。循环周期载荷不仅包含剧烈的载荷事件，而且还要包含一些看起来不太剧烈的载荷事件。每个事件计算各自对疲劳的百分比损伤。随着时间的变化，循环周期将会改变，必须记录下这些改变，理解这些改变对你的产品的意义。

### 多体动力学模型设置

为了从MBD中得到精确的载荷，必须在系统模型中包含柔性体部件。柔性部件允许结构可以同时反映静力学或者动力学的行为，得到精确的载荷。

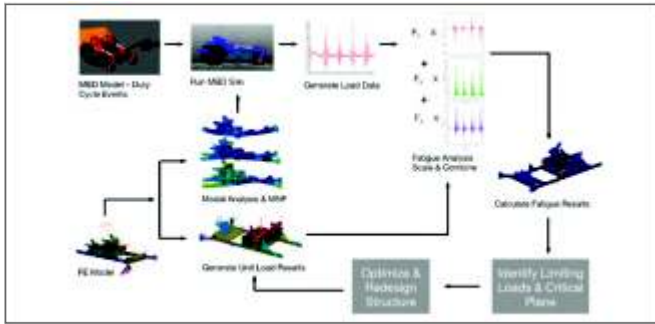
用有限元模型生成的柔性体部件代替Adams中的刚体部件，柔性体采用模态中性文件，即用一系列模态振型来表示部件结构。模态中性文件的一个问题

是“用多少阶模态才能保证精度？”回答是“具体问题具体分析”。但是有一些基本的准则，其中一条就是取模态最高截断频率为你感兴趣的频率范围的2倍。例如，你感兴趣的最高频率范围为200Hz，那么模态截断频率至少是400Hz。同时，使用残余矢量法和其它一些技术可以减少模态数，增加计算精度。

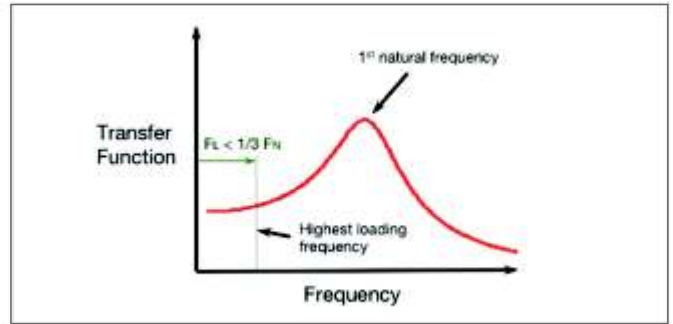
一旦多体动力学模型完成，它可以用来计算所有感兴趣的部件连接点处的载荷，如果是柔性体部件，还可以计算应力。Adams可以计算柔性体的节点应力。但是这些应力通常不直接用于疲劳计算，而是用于识别热点和高应力载荷时间点。

有两个基本方法来通过多体系统动力学模型计算应力，一是准静态方法；另一是模态方法。

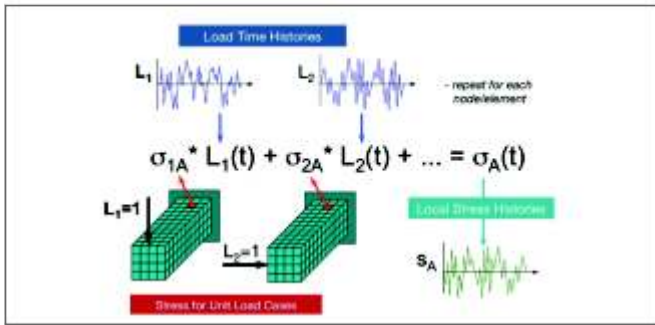
“当虚拟载荷/疲劳分析过程先于物理样机和物理试验时，一些关键参数和指标需要由试验测得。”



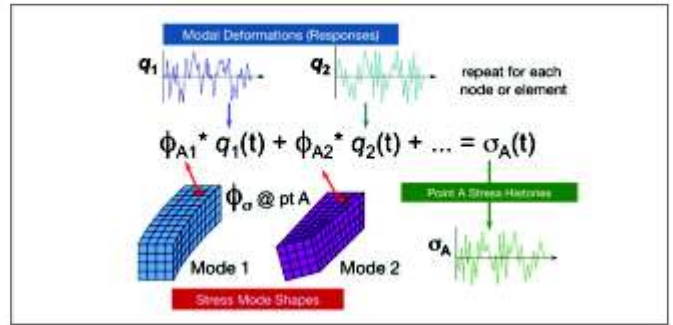
虚拟载荷/疲劳流程概况



频响函数



准静态应力恢复方法



模态应力恢复方法

## 准静态应力恢复方法

准静态方法(又称线性叠加)有一个假设,即结构行为是静态的。这种方法在概念上更容易被理解。但是需要注意验证这个假设。这个假设当载荷频率小于结构第一阶模态频率的1/3时,通常认为是有效的。

用这种方法,每个连接点的载荷时间历程(包括加速度载荷时间历程)都可以输出。对应于每个连接点,在有限元模型中施加“单位”载荷工况进行分析。单位载荷工况分析通常用惯性释放方法来约束模型,每个单位载荷工况使用一个单位载荷。

疲劳分析用载荷连接点的时间历程数据来按比例放大每个单位载荷。对于每一个分析时间步,将所有放大后的单位载荷对应的应力叠加起来就得到该时刻的真实的应力状态。一旦每个单元在任意时刻的真实应力计算得到之后,疲劳分析软件就可以用这些应力分析整个载荷周期的疲劳寿命。这种方法的优点是计算方便,文件小,概念上也易于理解。缺点是当结构自然频率和载荷所包含的频率接近时,精度可能不够。

## 模态应力恢复方法

模态应力恢复方法(即模态叠加法)类似与准静态方法,只是用模态振型来代替单位载荷工况,用模态响应代替载荷时间历程。

为了做应力恢复,Adams将输出.mdf文件,结合柔性体模态计算文件(SOL 103生成mnf文件),用于重启动计算模态法瞬态响应(SOL 112)。从模态瞬态响应分析,MSC Nastran将可以计算每个单元的应力。当然,这个结果文件可能会非常大。为了得到较小文件,通常在MSC Nastran中加SDISP卡片来输出模态参与因子到pch文件中。疲劳分析用此乘以每阶模态响应,再进行叠加,可以得到每个点的时域应力结果。这些时域应力结果用于计算疲劳寿命。

这个方法的优点是可以考虑结构共振效果,且不用存整个结构的所有时间历程。

缺点是概念上比较复杂,要求MSC Nastran计算模态参与因子文件。

## 疲劳分析

一旦得到应力结果,有几种方法可

以计算疲劳寿命。通用的推荐方法是用应变计算疲劳寿命,因为这种方法可以考虑过载和加载顺序的影响。

有几种方法可用于计算焊点寿命,但都是基于试验应力寿命计算得到。通常将焊点进行归类来使用最接近的应力寿命曲线。当然,也可以用其它的高级方法,不考虑焊点分级。

## 小结

虚拟载荷/疲劳分析过程要求某些领域的专业知识,如多系统动力学、有限元、疲劳和试验校正。整个流程需要反复进行仿真、测试,和两者之间进行校正,以便得到可信的模型。成功的公司通常有几位专职的工程师来完成以上反复仿真、测试和校正的过程。

参考:

Adams Training — ADM710 Flex Body Dynamics and Modal Stress Recovery using Adams

Patran Training — PAT318 Durability and Fatigue Life Estimation Using Patran