



ANSYS Mechanical 振动疲劳仿真

黄晶

- 振动与振动疲劳简介
 - 振动分析简介
 - 疲劳分析简介
 - 振动疲劳理论介绍
- 正弦振动疲劳分析
 - Ansys Mechanical疲劳分析简介
 - 正弦振动疲劳分析
 - 正弦振动疲劳结果查看

安世亚太

安世亚太

- 振动与振动疲劳简介
 - **振动分析简介**
 - 疲劳分析简介
 - 振动疲劳理论介绍
- 正弦振动疲劳分析
 - Ansys Mechanical疲劳分析简介
 - 正弦振动疲劳分析
 - 正弦振动疲劳结果查看

安世亚太

安世亚太

- **振动**：是物体围绕平衡位置进行的往复运动的一种形式。通常用一些物理量（如位移、速度、加速度等）随时间变化的函数来表征振动的 timelines。或者说，振动可以认为是一个质点或物体相对于一个基准位置的运动。当这个运动在一定的时间间隔后仍精确地重复着，我们称之为周期振动。
- **正弦振动**：运动量随时间按正弦（或余弦）函数变化的振动，亦称简谐振动，能用正弦（或余弦）函数描述其运动规律的周期性振动，振动的幅值和相位是随时间变化，并可以预测。
- **随机振动**：对未来任何一个给定时刻，其瞬时值不能预先确定的振动，不能用简单的函数（如正弦函数、余弦函数等）或其简单组合来表达其运动规律，而只能用统计方法来研究的非周期性振动。振动的瞬时幅值事先不能精确地判断、但可以用随机过程来描述。

安世亚太

- **振动周期**：周期振动中，同一物理量的相同值重复出现的最短时间间隔，一般用“T”表示。
- **振动频率**：周期振动中，单位时间内相同的物理量值重复出现的次数。一般用“f”表示。这里分 $f=1/T$
- **角频率**：单位时间内的弧度数它等于频率乘以 2π 。角频率一般用 ω 表示，即 $\omega = 2\pi f$
- **幅值**：正弦量的最大值。在振动中幅值亦称振幅。
- **扫频速度**：在扫频过程中，频率对时间的变化率，即 df/dt
- **交越频率**：在振动试验中由一种振动特性量变为另一种振动特性量的频率。如交越频率由等位移——频率关系变为等加速度——频率关系时的频率。
- **倍频程**：频率比为 2^n 的两个频率之间的频段称为 n 个倍频程 $n=1$ 为 1 倍频程 如频率从 2Hz 到 4Hz 称 1 个倍频程； $n=3$ 为 3 倍频程如频率从 2Hz 到 16Hz 称 3 个倍频程。

正弦振动测试目的：在试验室内模拟电工电子产品在运输、储存、使用过程中所遭受的振动及其影响，并考核其适应性。

振动物理量：频率；加速度g或m/s²；振幅{单振幅(0-p)、全振幅(p-p)}；测试方向；测试时间；扫频速率- oct/min, dec/min (对数), Hz/s (线性)；扫频循环数

正弦振动检测标准 (CNAS认可)：

电工电子产品环境试验 第2部分: 试验方法 试验Fc: 振动(正弦) GB/T 2423.10-2008

电工电子产品环境试验 第2部分: 试验方法 试验Fc: 振动(正弦) IEC 60068-2-6:2007

正弦振动分类：正弦定频/正弦扫描

正弦定频振动试验：正弦定频振动的频率是始终不变的。一般为模拟转速固定的旋转机械引起的振动，或结构固有频率处的振动。定频试验中有一部分是振动强度试验，考核疲劳强度。

正弦扫频振动试验：扫频试验中频率将按一定的规律发生变化，分为线性扫描和对数扫描。线性扫描频率变化是线性的，即单位时间扫过多少赫兹，单位是Hz/s或Hz/min，这种扫描用于寻找共振频率的试验。对数扫描频率变化按对数变化，扫描率可以是oct/min, dec/min，oct是倍频程。对数扫描的意思是相同时间扫过的频率倍频程数是相同的。对数扫描时低频扫得慢而高频扫得快。

- 频率范围：
5 ~ 500 ~ 5Hz
- 强度：
(5 ~ 5.5) Hz , 振幅25.4mm , (5.5 ~ 30) Hz , 加速度 : 1.5g ;
(30 ~ 50) Hz , 振幅0.84mm , (50 ~ 500) Hz , 加速度 : 4.2g ;
- 扫描方向 : 对三个轴进行正弦扫描 ,
- 扫描时间 : 15分钟
- 扫描速率 : 线性扫描

- 按GJB 360B-2009方法214规定进行试验：
 - 按试验条件 I ，表214-1中试验条件 $G[40 (m/s^2)^2/Hz, 239.1m/s^2]$ 试验；
 - 在三条互相垂直轴线 (X、Y、Z) 的每一条轴向上扫描7.5min；

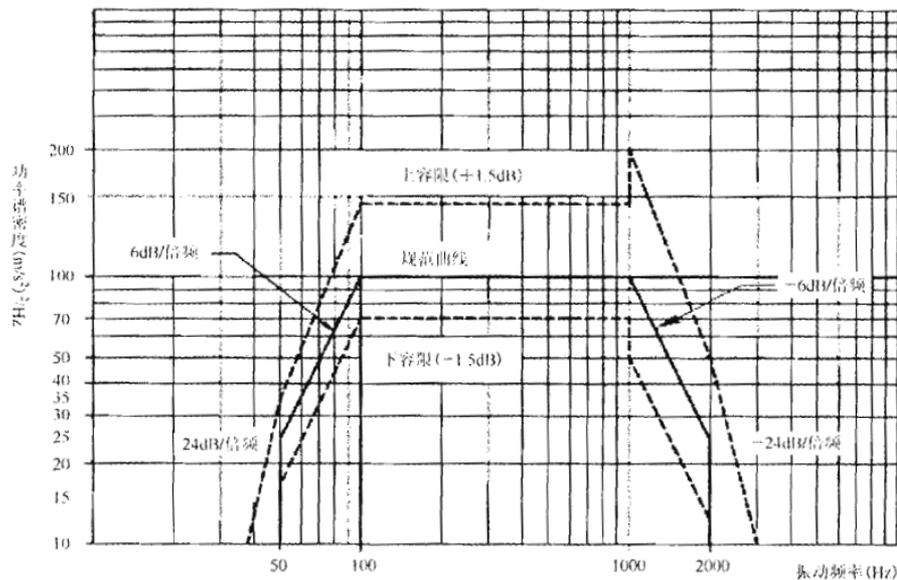


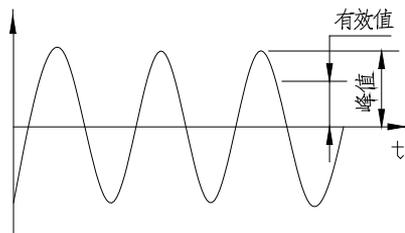
图 214-1 试验条件 I 规定的谱形

随机振动与正弦振动的区别：

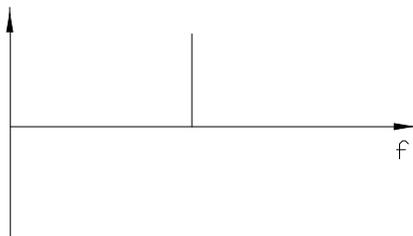
正弦振动在任意一瞬间只包含一种频率的振动，而随机振动在任意一瞬间包含频谱范围内的各种频率的振动，这些频率能量的大小按照规定的谱图分布。

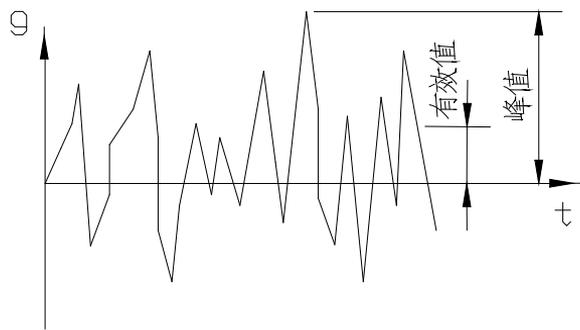
如下图所示：

正弦振动时域波形：

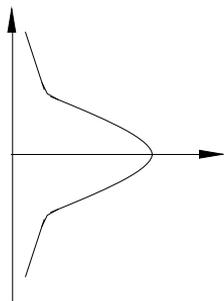


正弦振动频域谱图：

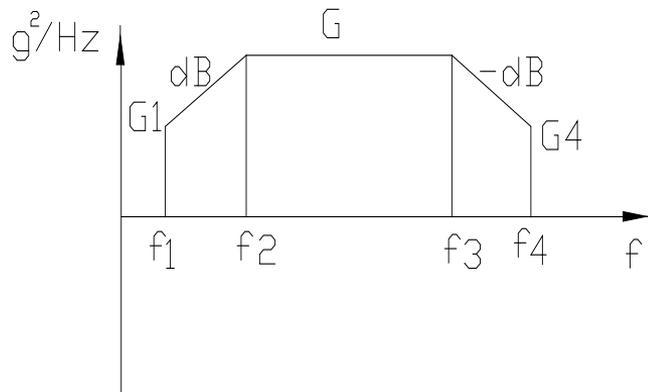




随机振动时域波形



概率分布图



随机振动频域谱图

4.2.4.3 炮振试验量值及谱形

炮振试验谱由宽带随机谱上叠加四个窄带随机峰组成。

炮振试验谱形见图 48。

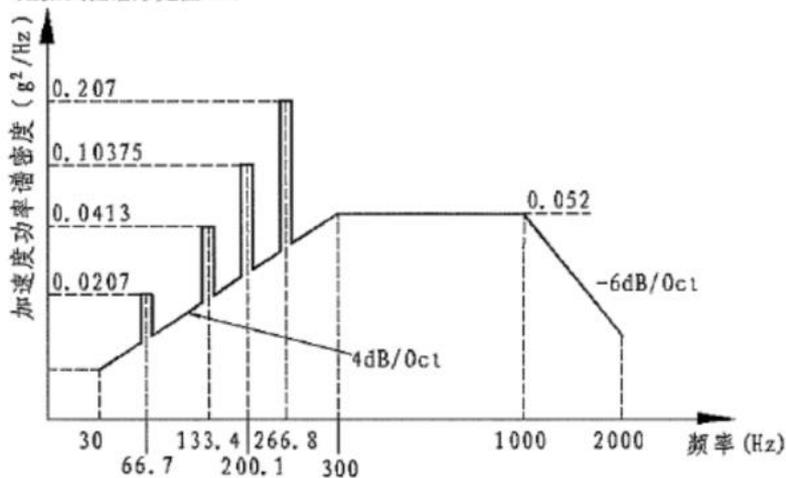


图48 炮振试验谱型曲线

4.2.4.4 试验时间

沿三个相互垂直轴向的每个轴向试验 20min。

除炮振试验量值、谱形以及试验时间按本报告规定外,试验中有关试验条件、试验设备及试验程序等要求均按 GJB150.20A 规定的内容进行。

安世

- 振动与振动疲劳简介
 - 振动分析简介
 - **疲劳分析简介**
 - 振动疲劳理论介绍
- 正弦振动疲劳分析
 - Ansys Mechanical疲劳分析简介
 - 正弦振动疲劳分析
 - 正弦振动疲劳结果查看

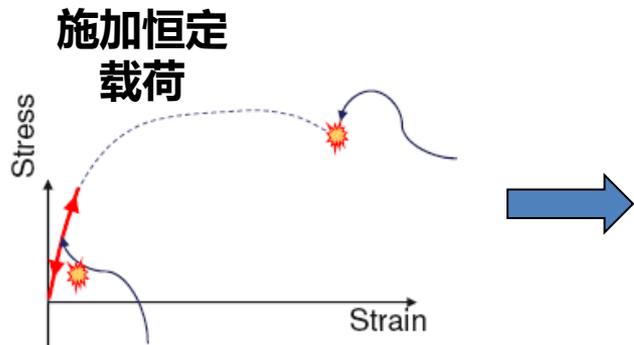
安世亚太

安世亚太

- 只通过静力来确定材料的机械性能时，机械性能没有充分反映材料在交变载荷作用下的特性。使用过程中往往会发生突如其来的破坏。



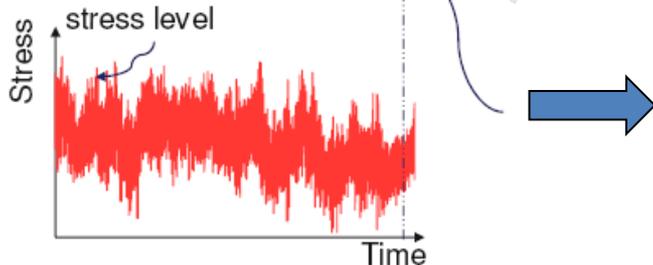
当材料或结构受到**多次重复变化的载荷**作用后，应力值虽然始终没有超过材料的强度极限，甚至比弹性极限还低的情况下就可能发生破坏。这种在交变载荷作用下材料或结构的破坏现象称为**疲劳**。



破坏模式1：

结构在恒定载荷作用下，当应力超过抗拉强度时发生破坏，这种破坏属于静力破坏。

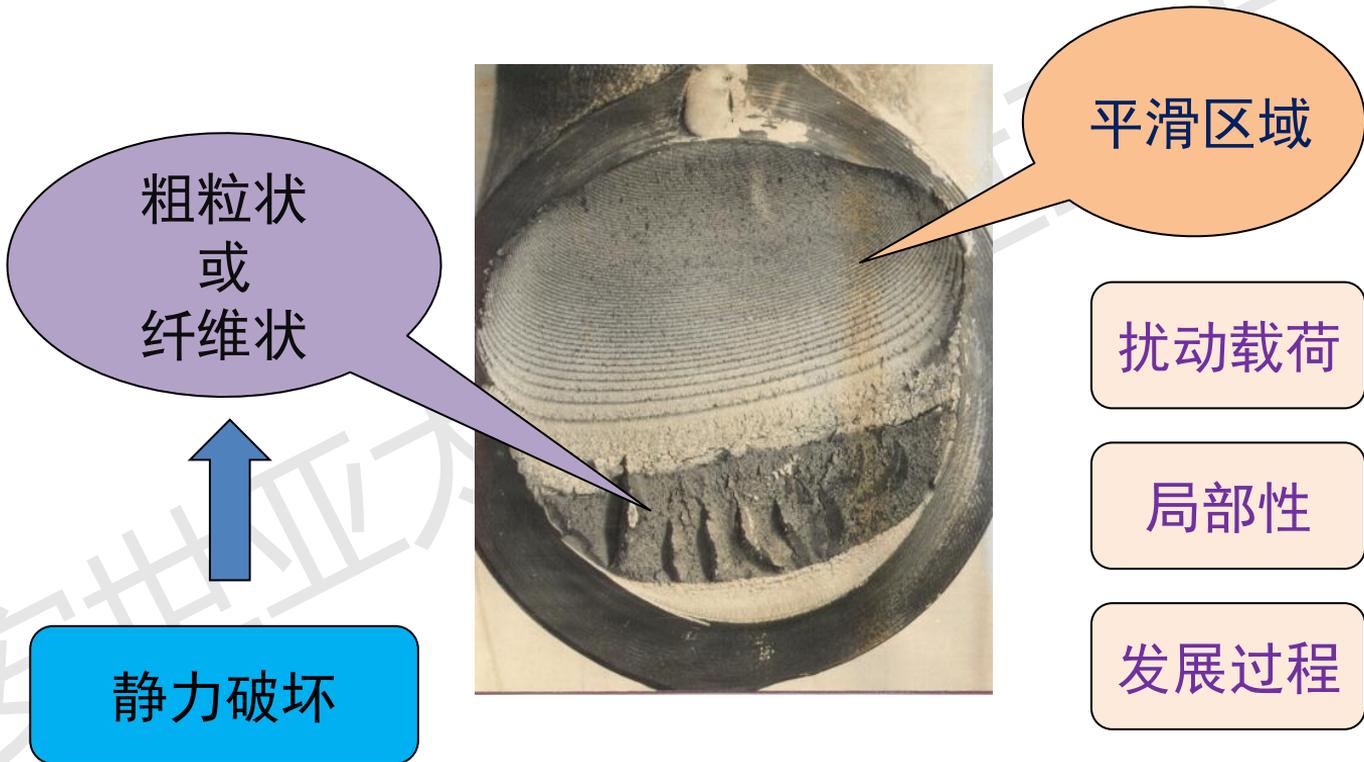
**在较低应力水平下，
施加循环载荷**



破坏模式2：

在应力水平较低的情况下，对结构施加循环载荷，最终引起结构破坏，这种破坏属于疲劳破坏。

疲劳是由应力的不断改变引起的，不是最大应力的原因。



➤ 应力疲劳分析 (S-N)

第一种疲劳分析方法

循环应力水平低、寿命长



高周疲劳：材料在低于其屈服强度的循环应力作用下，经 10^4 - 10^5 以上循环产生的失效；

➤ 应变疲劳分析 (E-N)

循环应力水平高、寿命短

屈服后应变变化大、应力变化小

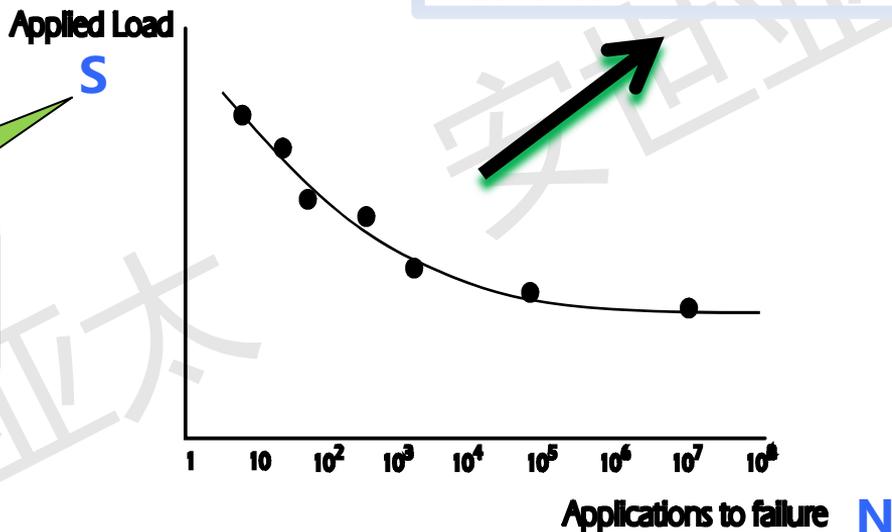


低周疲劳：材料在接近或超过其屈服强度的应力作用下，低于 10^4 - 10^5 次塑性应变循环产生的失效；

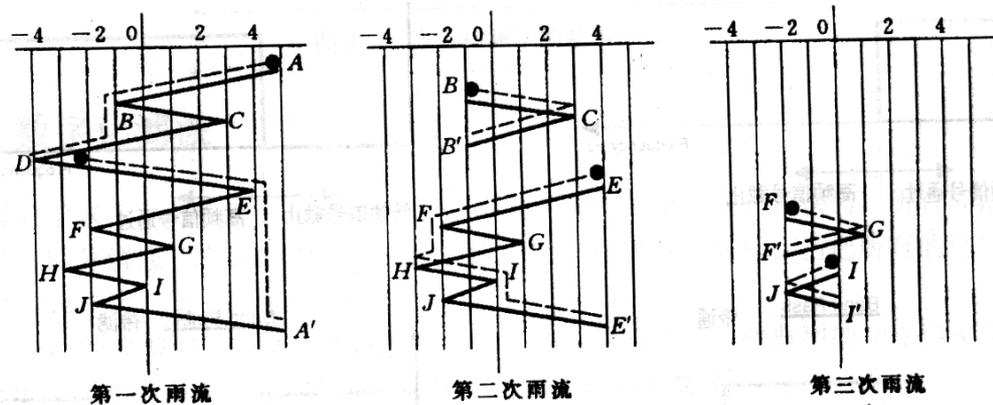
应力疲劳分析 (S-N)

光滑标准件，在恒幅对称循环应力作用下进行疲劳试验。
施加不同应力幅 S_a ，记录相应的寿命 N 。
恒幅对称载荷应力比 R 为-1，平均应力为 S_m 为0。

变幅载荷？
随机载荷？

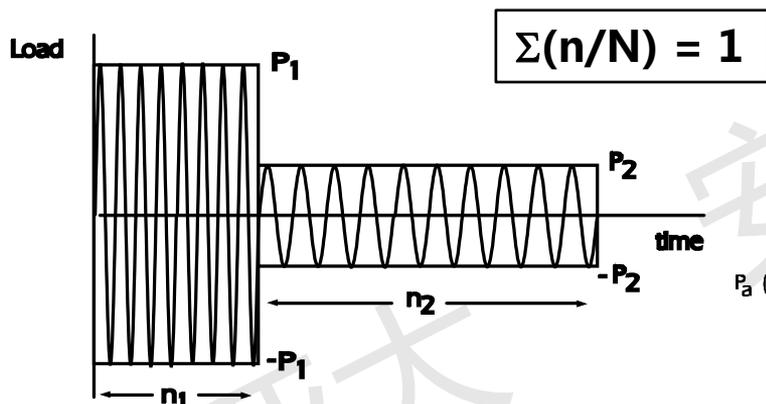


变幅载荷：雨流计数法——周期统计

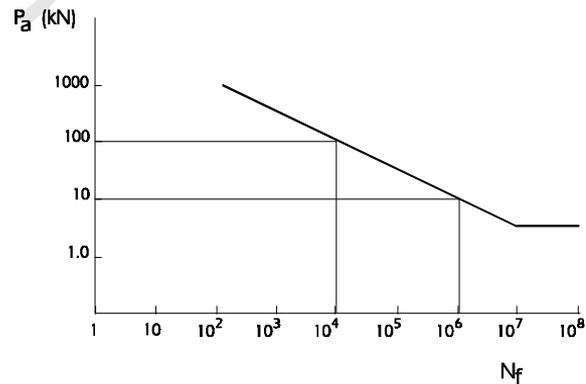


| 循环 | 幅值 | 均值 |
|------|----|------|
| ADA' | 9 | 0.5 |
| BCB' | 4 | 1 |
| EHE' | 7 | 0.5 |
| FGF' | 3 | -0.5 |
| IJI' | 2 | -1 |

米勒准则 (Miner准则) —— 损伤计算



$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} = 1$$



- 振动与振动疲劳简介
 - 振动分析简介
 - 疲劳分析简介
 - **振动疲劳理论介绍**
- 正弦振动疲劳分析
 - Ansys Mechanical疲劳分析简介
 - 正弦振动疲劳分析
 - 正弦振动疲劳结果查看

安世亚太

安世亚太

- 所有的疲劳分析都要求确定应力/应变循环.
- 幸运的是这并不一定要求是瞬态动力分析.
- 疲劳分析选项:
 - 静态 (或者准静态)
 - 疲劳分析通过时间历程来对静态应力或者应变进行比例缩放
 - 瞬态 (直接法或者模态法)
 - 疲劳分析直接使用有限元分析的应力或者应变结果
 - 随机振动(频域应力PSD)
 - 疲劳分析转换PSD到期望的应力循环

- 时域:
 - 静态方法 (带或者不带惯性释放)
 - 瞬态方法 (直接法或者模态法)
- 频率域:
 - 频率响应分析(传递函数)
 - 随机振动分析

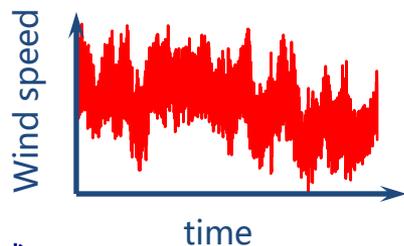
安世亚太

安世亚太

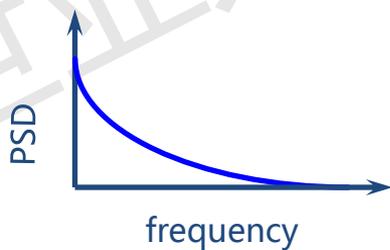
为什么使用频域?



时域

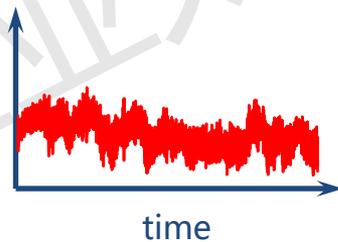


频域



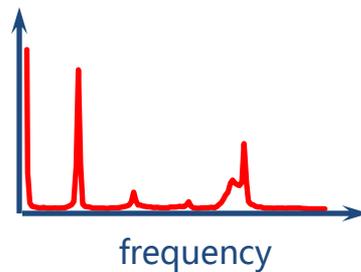
传递函数

Hub Stress



Output

PSD Stress



在频域中计算疲劳的好处

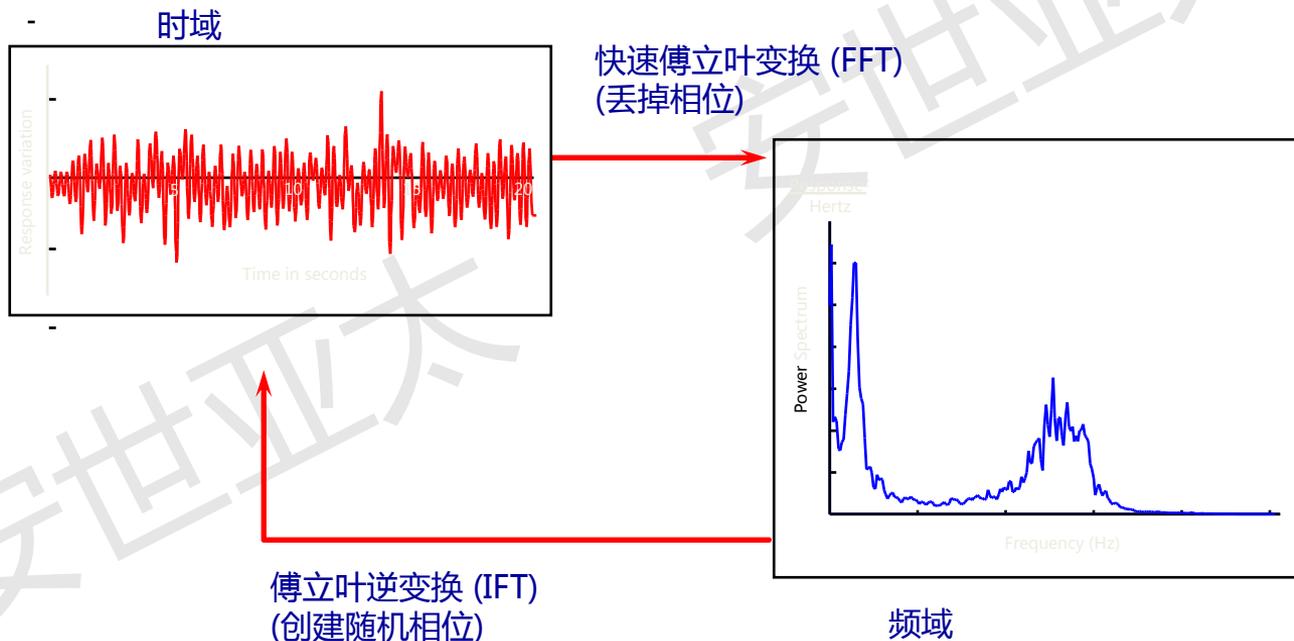


- 随机载荷的动力响应分析不需要完全的瞬态分析
- 疲劳分析相当快
- 分析可以在设计早期进行
- 能交互分析各种假定

安世亚太

安世亚太

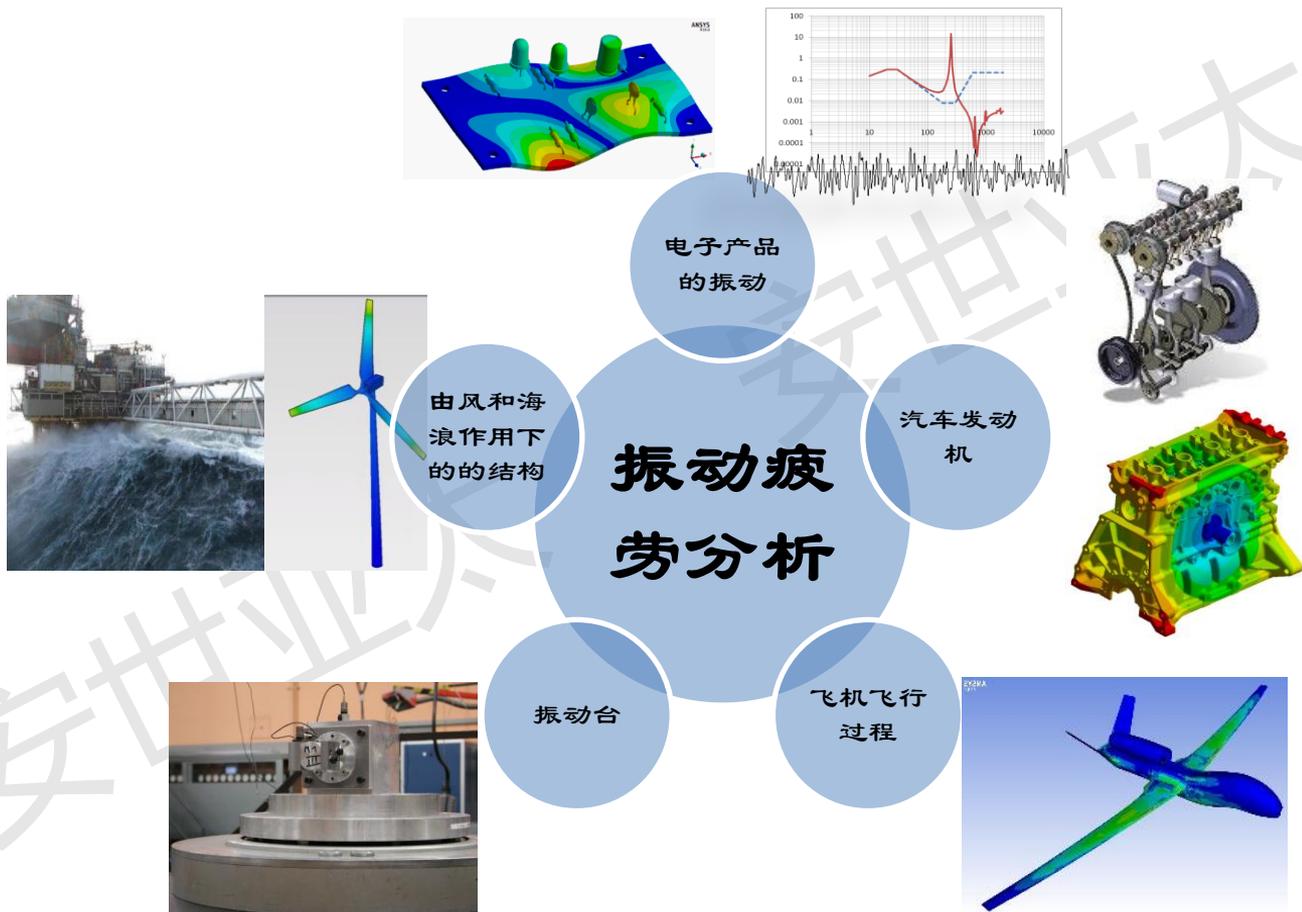
频域分析可以考虑动力共振效果



- 振动与振动疲劳简介
 - 振动分析简介
 - 疲劳分析简介
 - 振动疲劳理论介绍
- 正弦振动疲劳分析
 - **Ansys Mechanical疲劳分析简介**
 - 正弦振动疲劳分析
 - 正弦振动疲劳结果查看

安世亚太

安世亚太



- 可采用峰值频率和相角进行疲劳分析

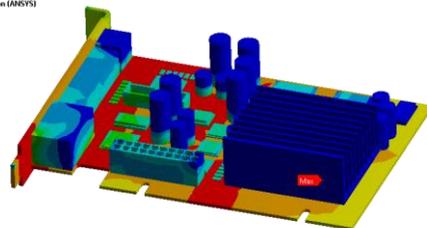
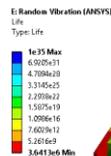
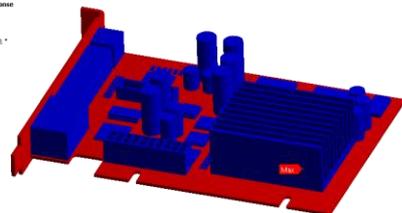
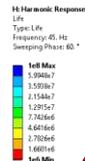
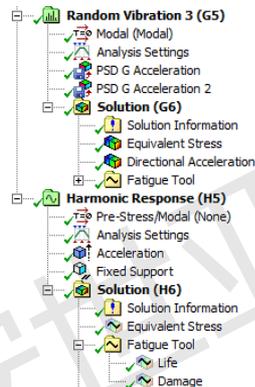
- PSD分析可以用于计算疲劳寿命

- 疲劳计算方法包括：

Steinberg(default), Narrow Band & Wirsching

- 也可以采用各方向应力来计算寿命

- 对于梁单元，等效应力不可用，但正应力和剪切应力可以用于计算疲劳寿命



- 基于频率的疲劳公式均受材料在应力 (S) 和寿命周期数 (N) 之间的关系驱动。可以使用以下任一方法定义此SN关系：
 - 线性SN曲线
 - 双线性SN曲线
 - SN曲线表
- 对于基于频率的疲劳计算，需要至少使用上面列出的SN曲线公式之一才能进行求解。
- 对于线性SN曲线和双线性SN曲线，参数的参考单位均为[Pa]。当前不支持其他任何单位或单位系统。
- 在此处涵盖的各种SN曲线公式中，“ S ” 值始终表示应力振幅。

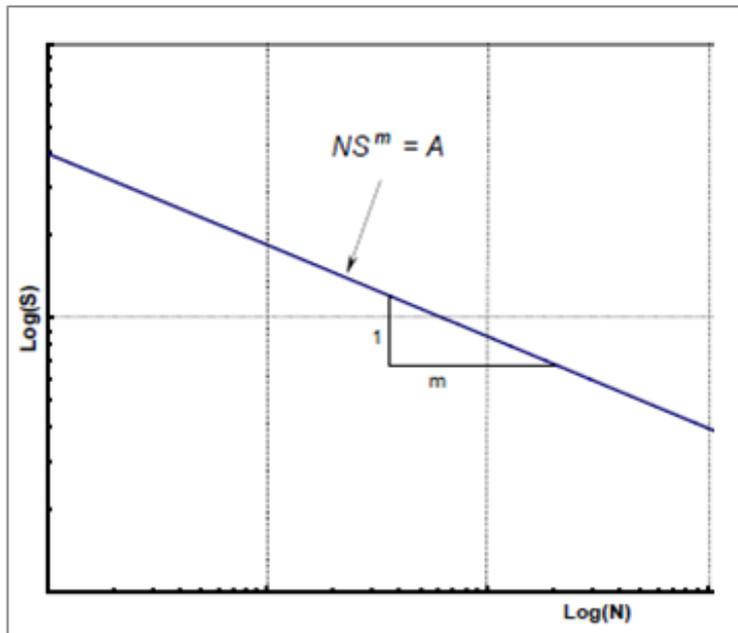
- 线性SN曲线公式

$$NS^m = A$$

A = 疲劳强度系数

m = 疲劳强度指数

S = 应力振幅 (单位: Pa)



安世亚太

• 双线性SN曲线公式

$$NS^m = A \text{ 和 } NS^r = C$$

A = 第一疲劳强度系数

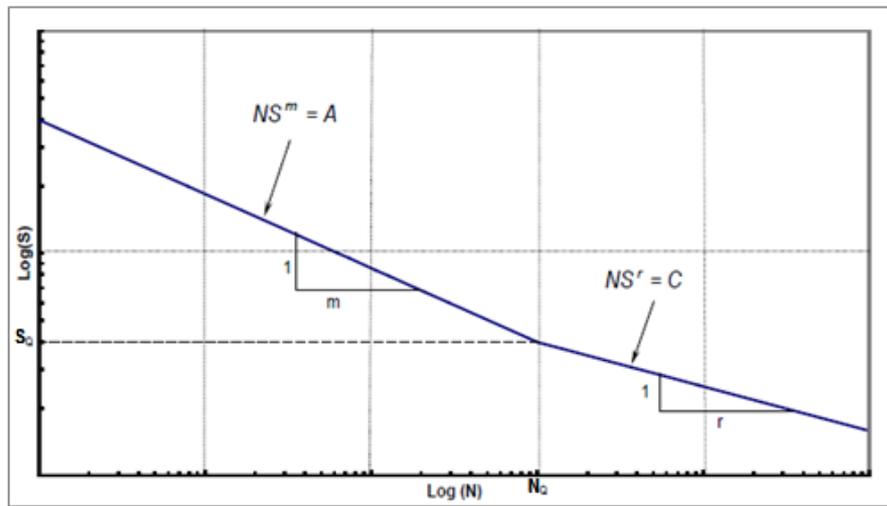
m = 第一疲劳强度指数

C = 第二疲劳强度系数

r = 第二疲劳强度指数

S_Q = 过渡点的应力振幅 (单位: Pa)

N_Q = 过渡点的循环数



使用Engineering Data Workspace中的 **Derive from** 属性，选择以下两种定义方法之一：

• **系数和指数**：用户定义A，m，C和r。

• **转变点**：定义m，r， N_Q 和 S_Q 。

所有其他属性都是自动计算的。

• SN曲线表

- 如下图所示，SN曲线的默认数据包含在工程数据工作区表格数据中，其中包含相应的交替应力和寿命周期。

注意： 如果仅提供SN表（而不提供线性/双线性参数本身），则求解器将使用表的第一个点和最后一个点执行方程式的线性插值并得出所需的参数A和m。一旦获得A和m值，我们就可以正常地进行求解。如果直接通过材料定义提供任何一个参数（线性/双线性），则将直接使用它们。（在这种情况下，该表（如果存在）将被忽略）

| | B | C |
|----|--------|-------------------------|
| 1 | Cycles | Alternating Stress (Pa) |
| 2 | 10 | 3.999E+09 |
| 3 | 20 | 2.827E+09 |
| 4 | 50 | 1.896E+09 |
| 5 | 100 | 1.413E+09 |
| 6 | 200 | 1.069E+09 |
| 7 | 2000 | 4.41E+08 |
| 8 | 10000 | 2.62E+08 |
| 9 | 20000 | 2.14E+08 |
| 10 | 1E+05 | 1.38E+08 |
| 11 | 2E+05 | 1.14E+08 |
| 12 | 1E+06 | 8.62E+07 |
| * | | |

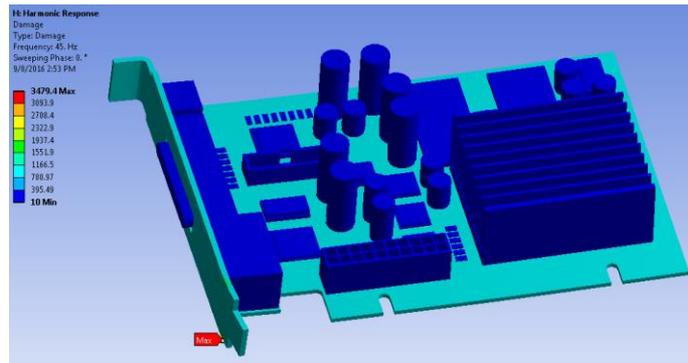
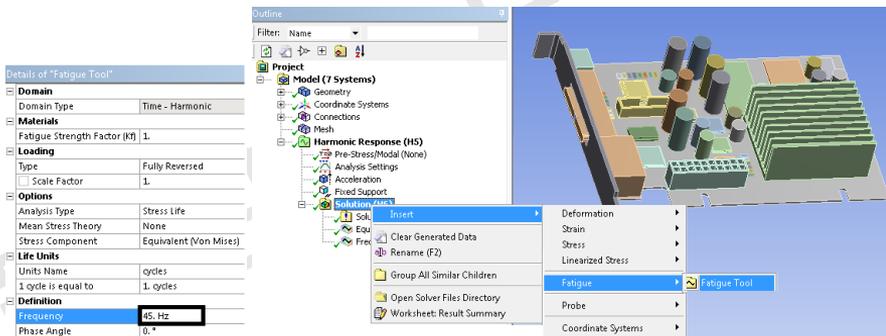
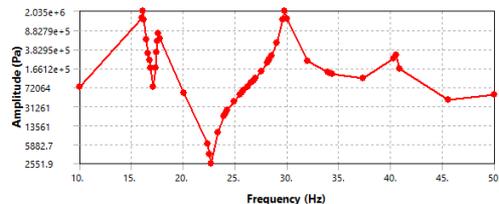
- 振动与振动疲劳简介
 - 振动分析简介
 - 疲劳分析简介
 - 振动疲劳理论介绍
- 正弦振动疲劳分析
 - Ansys Mechanical疲劳分析简介
 - **正弦振动疲劳分析**
 - 正弦振动疲劳结果查看

安世亚太

安世亚太

- 首先开展谐响应分析
- 查看输出的应力频率响应曲线，找到峰值频率和对应的相角
- 设置需要进行疲劳计算的频率和相角
- 作为Fatigue Tool的输入条件

Frequency Response



Showing fatigue damage of electronic PCB subjected to harmonic acceleration exciting the first mode shape

- 如果系统的响应本质上是谐波，而不是随机的，则针对单个目标频率或扫描多个目标频率使用最大应力响应，并使用持续时间来计算疲劳效应。
- 正弦振动疲劳计算有三种可用的选项：
 - **单一频率**：疲劳分析考虑了定义频率下的应力。该应力与定义的SN曲线一起使用，内插得到疲劳寿命。
 - **多种频率**：可以手动指定频率值及其对应的“**持续时间**”。在疲劳分析中考虑了这些不同频率处的应力，并累积了疲劳损伤。
 - **正弦扫描**：可以手动指定频率值及其对应的**比例因子**。使用扫描速率（考虑总持续时间），可以在每一步中进行振幅缩放。从最低频率到最高频率，步长为0.5Hz。疲劳损伤会累积。
- 在正弦振动疲劳分析中，SN曲线表将优先，并且将在可用时使用。如果该表不存在，则求解器将使用线性/双线性参数中的任何一个来构造伪曲线并将其用于插值。

Fatigue Tool

Details of "Fatigue Tool"

| | | |
|---------------------------------------|------------------------|--------|
| Domain | | |
| Domain Type | Time - Harmonic | |
| Materials | | |
| Fatigue Strength Factor (Kf) | 1. | 疲劳强度因子 |
| Options | | |
| Stress Component | Equivalent (von-Mises) | 应力分量 |
| Results Input (Beta) | Stress | 结果输入类型 |
| Loading | | |
| <input type="checkbox"/> Scale Factor | 1. | 载荷缩放因子 |
| Definition | | |
| Exposure Duration | 1. s | 持续时间 |
| Frequency Selection | Single Frequency | 频率选择 |
| Frequency | 0. Hz | |

世亚太

- **疲劳强度因子 (Kf)**

- 该特性定义了疲劳强度降低因子。通过此设置，您可以在运行疲劳分析时按指定因子调整应力-寿命或应变-寿命曲线。默认值为1。您可以通过输入条目来设置属性，也可以使用与该属性关联的滑块功能。滑块代表从最小 (0.01) 到最大 (1)。您使用此属性来说明“现实世界”环境，该环境可能比在其中收集数据的严格控制的实验室环境更为严酷。可以在设计手册中找到解决诸如表面光洁度之类的常见疲劳强度降低因素。

安世亚太

应力分量

由于应力是多轴的，但是实验疲劳数据通常是单轴的，因此必须将应力从多轴应力状态转换为单轴应力状态。使用最大剪切应力的2倍的值。也可以从几种类型中进行选择，包括分量应力，von Mises应力和带符号的von Mises应力（采用绝对最大主应力的符号）。带符号的冯·米塞斯（von Mises）应力主要用于考虑压缩平均应力。

注意： 对于完全反转、平均应力为零的情况，“最大主应力”和“绝对值最大主应力”选项将给出相同的结果。

- **比例因子**

- 设置可缩放负载大小。例如，如果将此值设置为3，则从零开始的加载的幅度（和平均值）将是结构应力的1.5倍。此选项对于查看不同的有限元加载量的影响，不必重复运行完整的结构分析。注意，在应力从张量转换成标量之后应用此比例因子。

安世亚太

- **持续时间**

- 指定了加载的持续时间。默认设置为一秒（1）。即计算出的损害是基于每秒的损害。对于正弦振动疲劳分析，周期数是内部计算的，即“持续时间”乘以所选频率。

- **频率选择**

- 可以使用此属性选择分析选项，包括：

- **单频**（默认）：疲劳分析仅考虑定义频率下的应力。

- **多个频率**：可以在“**表格数据**”窗口中手动指定频率值及其对应的“**持续时间**”。在疲劳分析中考虑了这些不同频率处的应力，并累积了疲劳损伤。

- **正弦扫描**：可以在**表格数据**窗口中手动指定频率值及其对应的**比例因子**。使用扫描速率（考虑总持续时间），可以在每一步中进行振幅缩放。从最低频率到最高频率，步长为0.5Hz。疲劳损伤会累积。

- **频率**
- 指定计算应力响应并用于疲劳分析的频率（以Hz为单位）。对于选定的频率，将自动选择最大应力的相位。
- **扫描速率**
- 以Hz / s单位指定频率扫描的速率。

安世亚太

- 振动与振动疲劳简介
 - 振动分析简介
 - 疲劳分析简介
 - 振动疲劳理论介绍
- 正弦振动疲劳分析
 - Ansys Mechanical疲劳分析简介
 - 正弦振动疲劳分析
 - **正弦振动疲劳结果查看**

安世亚太

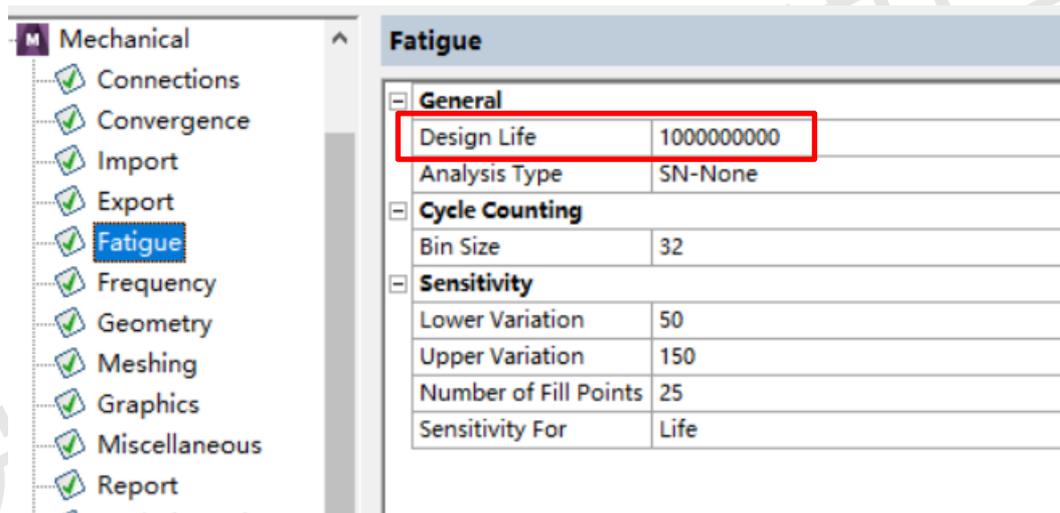
安世亚太

- **寿命**

- 云图显示给定疲劳分析的可用寿命。如果加载的振幅恒定，则表示零件由于疲劳而失效之前的循环次数。如果加载不是恒定的，则表示直到失败为止的加载块数。因此，如果给定的载荷历史表示一个月的载荷，并且寿命为120，则预期模型寿命将为120个月。
- 在恒定振幅分析中，如果交变应力低于SN曲线中定义的最低交变应力，则将使用最低点的寿命。

安世亚太

- **损伤**
- 疲劳损伤定义为设计寿命除以可用寿命。可以通过Mechanical选项设置默认的设计寿命。大于1的损坏表示零件将在达到设计寿命之前因疲劳而失效。





大咖慧，顾名思义，汇集众多大咖智慧。

是由安世亚太打造的一个以设计、仿真、增材制造等领域技术和行业专家为主的智慧学习平台。目前主要通过线上培训、研讨等方式，由行业相关领域资深专家与学员们分享交流最新技术和应用研究成果。

如有任何需求、建议，请关注订阅号（peraglobal），给我们留言

