

基于 LabVIEW 的振动 疲劳分析



疲劳是由于对材料或部件的循环载荷而导致的局部损伤。随着材料所历经持续增长的循环载荷，每一分钟都可能会出现材料裂缝，并使材料发生断裂。结构因材料疲劳而失效可能会导致意外事故。因而，在结构和机械工程中，要求可靠的设计以防止结构疲劳。基于原型测试的疲劳寿命预测是产品开发过程中的重要组成部分。美国国家仪器公司对疲劳测试提供了疲劳分析和寿命预测的解决方案。下文将阐述疲劳分析和寿命预测中使用的硬件平台和工业中使用的疲劳分析方法。

[点击这里下载振动疲劳分析 LabVIEW VIs](#)

*注意要使用这些函数，您需要安装 LabVIEW8.5 或其更高版本。

疲劳分析

对材料和部件进行疲劳分析及预测寿命有几种可能的方法，包括应力-寿命、应变-寿命、裂纹扩展和点焊接头等方法。而应力-寿命方法是最为行之有效的技术，该方法在设计中被广泛应用。下图显示了基于应力-寿命模型的疲劳分析过程。

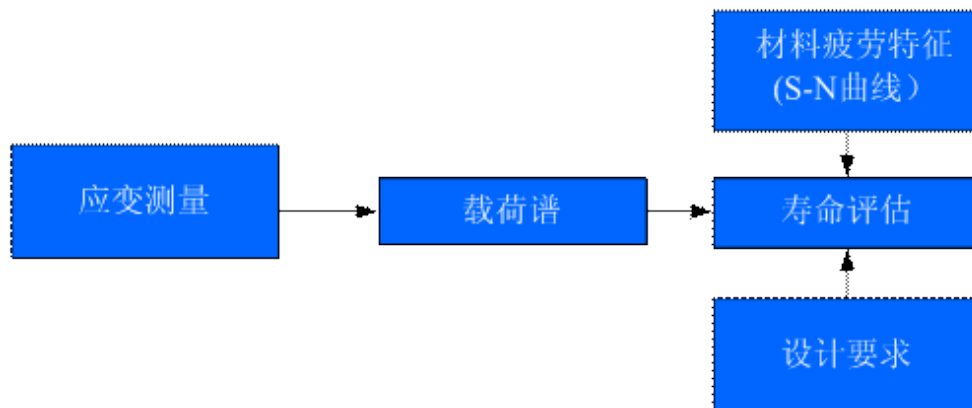


图 1：应力寿命疲劳分析过程

疲劳分析需要进行实验测量，以获得部件或结构的局部载荷。固定在部件或结构上的应变片显示了他们在运行期间承受的载荷，通过应变测量获得结构局部应力随时间的变化信号。

载荷谱描述了部件运行寿命期间所经受载荷的统计分布，它可以用应力范围直方图来表示。载荷谱可以用一系列与疲劳损伤相关的简单恒幅载荷循环来表示部件或结构的复杂载荷历程。

通过将结构试验的实际测量数据与其材料样品实验室中获得的疲劳数据进行比较，可以估算出该结构的损伤程度。疲劳分析一般使用材料 S-N 曲线，其也被称为 Wohler 曲线，来描述材料的疲劳特性，其中 S 表示循环应力，N 表示结构失效的循环次数。

利用材料的疲劳特性，可以对承受特定环境载荷的材料或部件进行总损伤的估算。您也可以使用该疲劳特性估算出的材料或部件寿命，及验证其是否符合设计要求。

应力测量

当进行疲劳分析时，使用应变片来测量材料或部件上的应力。欲了解更多有关使用应变片的信息，请参考 NI 开发者论坛上的[应变片测量应变](#)教程。

载荷谱

有两种计算材料或部件载荷谱的方法：时域和频域。

雨流循环计数是一种时域方法，它将不规则的载荷转化为应力范围直方图（载荷谱）。欲了解更多有关雨流循环计数的信息，请参考 ASTM E - 1049 疲劳分析中循环计数的计算标准。下图显示了雨流循环计数矩阵图，其表示了对材料或部件利用雨流循环计数方法所得到的载荷谱。

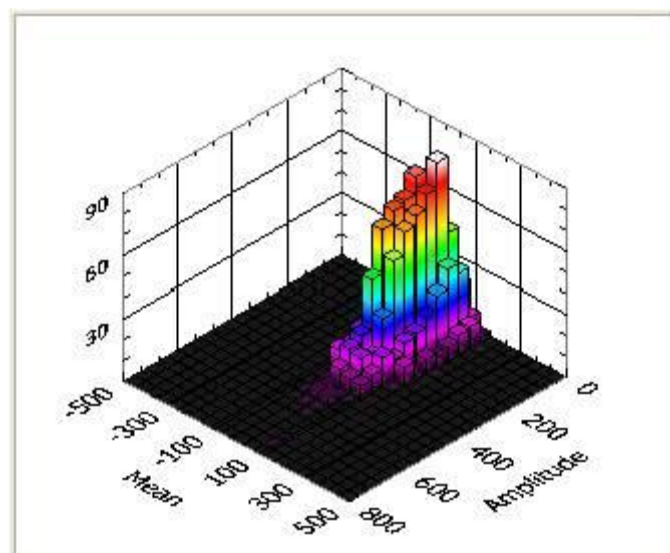


图 2：雨流循环计数矩阵图

频域的方法也可以用于计算载荷谱。功率谱密度（PSD）是用于表示操作载荷的最常用方法。基于 PSD，通过疲劳计算模型，您可以得到应力范围概率密度函数（PDF）。我们可以将应力范围 PDF 转化为应力范围直方图。有两种常见的估算载荷谱的实验方法：窄带（Bendat）方法和宽带（Dirlik）方法。

基于应力寿命的损伤估计

对于高周期循环疲劳，您可以通过名义应力-寿命分析方法，使用应力循环计数和 Palmgren-Miner 线性损伤累加法，估算出材料或部件的损伤。这种方法必须假定部件的应力变化小于材料的弹性极限，并且达到失效的载荷循环次数非常大。

基于应力-寿命的损伤估计包括以下步骤：

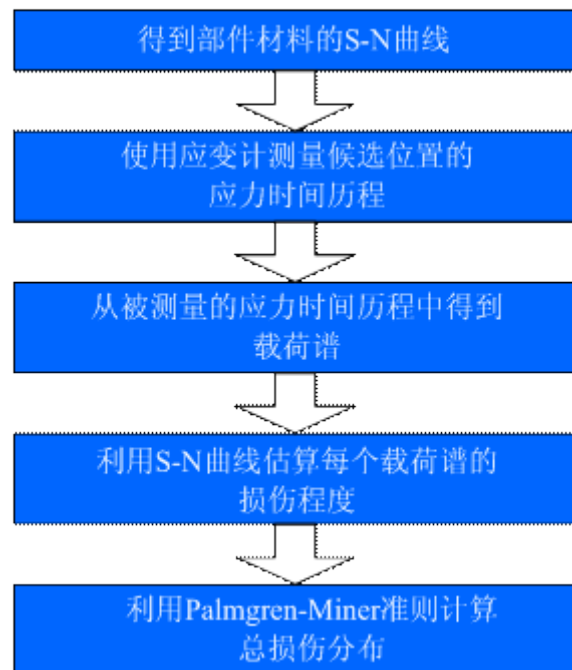


图 3：基于应力寿命的损伤估计过程

材料 S-N 曲线

S-N 曲线描述了材料疲劳特性。该曲线表示材料疲劳损伤之前，在给定的应力水平下，该材料可以经受的循环载荷次数。下图显示了典型的材料 S-N 曲线。

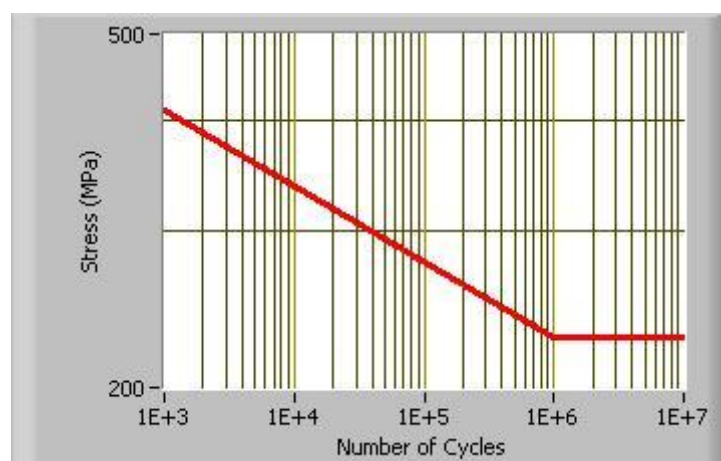


图 4：典型的材料 S-N 曲线

您也可以通过在实验室里对材料试件的进行交变的弯曲测试，获得材料的 S-N 曲线。如果没有实验获得的 S-N 数据，您可以使用材料的极限抗拉强度和其加工工艺来

估算部件的 S-N 特性。通过给定材料的极限抗拉强度，就可以近似估计 S-N 曲线。并通过考虑其他因素，如负载类型、表面加工、材料尺寸和 S-N 曲线置信度等，您可以进一步优化 S-N 曲线的计算。

Palmgren–Miner 准则

S-N 曲线定义了给定恒幅应力下材料的寿命（失效的循环次数）。实际上，部件的使用寿命估计需要考虑由载荷谱表示的不规则载荷导致的整体疲劳失效。Palmgren–Miner 准则是一种使用材料 S-N 曲线对不规则和重复载荷进行线性累积损伤估计的方法。

根据 Palmgren–Miner 准则，构件的总损伤 D 是载荷谱上的任一应力水平 S 产生损伤的线性总和。总损伤可以表示为

$$D = \sum_i \frac{n_i}{N_i}$$

其中 N 表示材料 S-N 曲线上应力水平 S 所对应的失效力循环数， n 表示载荷谱上应力幅度 S 所对应的应力循环数。

您可以使用损伤分布图表示载荷谱上任何应力水平 S 的所对应的损伤分布，如下图所示。

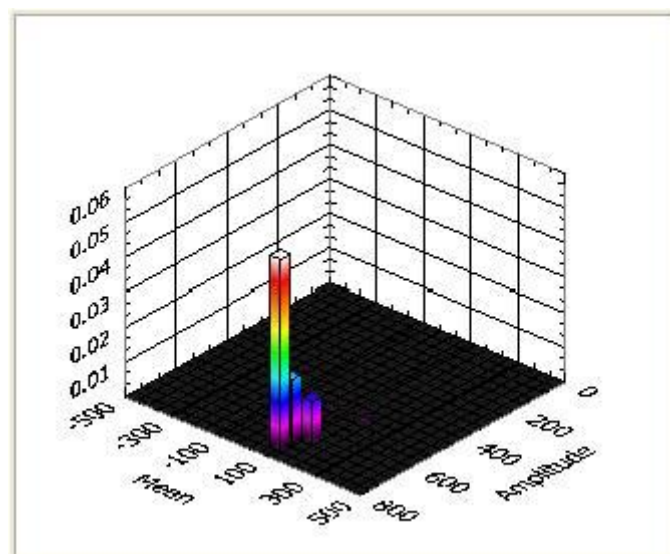
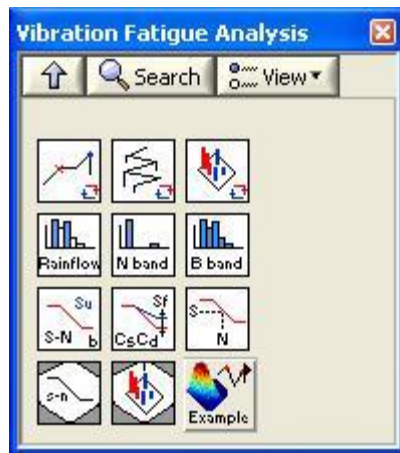


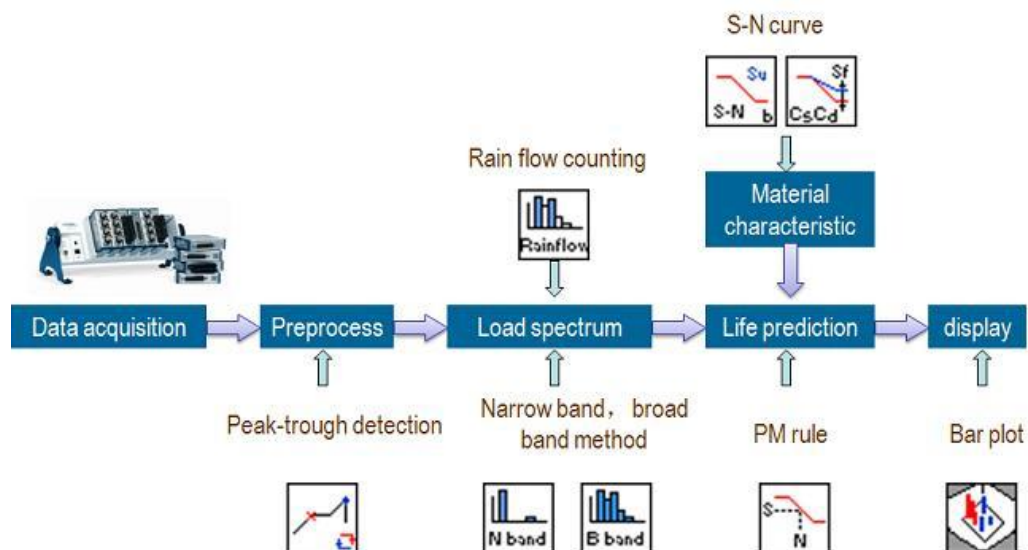
图 5：损伤分布图

分析 VIs

LabVIEW 振动疲劳分析包括一系列基于应力-寿命方法进行疲劳分析的 VIs。分析函数包括峰谷检测、雨流循环计数、雨流直方图矩阵、载荷谱估计、S-N 曲线生成和基于应力-寿命的损伤估计。



这些 VIs 可以用于基于应力-寿命方法进行疲劳分析的每一个步骤，如下图所示。



[\[+\] 放大图片](#)

图 6：用于疲劳分析过程的 VIs

vfa_峰谷计数 VI 将被测量的载荷信号转变为连续的波峰和波谷序列，您可以进一步对峰谷序列进行循环计数。

vfa_雨流循环计数 VI 根据 ASTM E-1049 标准，从波峰和波谷序列表示的不规则载荷获得循环应力直方图（载荷谱）。

vfa_雨流循环分类 VI 将雨流循环计数循环应力直方图转变为雨流循环计数矩阵图。

vfa_载荷谱（雨流法） VI 使用雨流循环计数方法生成被测量载荷信号的载荷谱。

vfa_载荷谱（窄带法）VI 使用窄带（Bendat）频域方法由被测量载荷信号的 PSD 生成载荷谱。

vfa_载荷谱（宽带法）VI 使用宽带（Dirlik）频域方法由被测量载荷信号的 PSD 生成载荷谱。

vfa_基础 S-N 曲线 VI 基于材料极限抗拉强度生成基础 S-N 曲线。

vfa_S-N 曲线修改 VI 通过考虑加载、表面加工、样品尺寸、冲孔效应和可靠性，利用加权系数来修改基础 S-N 曲线。

vfa_损伤估计 VI 基于材料 S-N 曲线估计在给定载荷谱下所造成的损伤。

vfa_S-N 曲线图 VI 在 X-Y 曲线图上绘出材料 S-N 曲线。

vfa_直方柱图 VI 使用载荷谱数据在三维表面图上绘出直方柱图。

[点击这里下载振动疲劳分析 LabVIEW VIs](#)

*注意要使用这些函数，您需要安装 LabVIEW8.5 或其更高版本。

欲了解更多有关本文的信息，请联系 dsp.nish@ni.com。

