

车辆耐久性可靠性关键技术及工程实践

林晓斌 博士

上海山外山机电工程科技有限公司

© 2022 上海山外山机电工程科技有限公司 车辆耐久性可靠性关键技术及工程实践 2022年4月28日

上海山外山机电工程科技有限公司 (SWINS)

- 疲劳耐久性可靠性工程领域的专业供应商
- 英国 HBK-nCode 软件中国独家总经销商
- 美国 HBK-ReliaSoft 软件中国独家总经销商
- 美国 HBK-SoMat 数据采集器中国总代理
- 英国 Millbrook 车辆试验技术中国合作伙伴
- 丹麦 SVB-ARTEMIS 模态分析软件中国区代理
- SWINS 耐久性可靠性工程技术服务
- SWINS 应用流程包自主开发

nCode

ReliaSoft

HBK HOTTINGER
BRÜEL & KJÆR

请关注SWINS官方微信公众号



www.swins-china.com

可靠性 **ReliaSoft**

耐久性 **nCode**

W Weibull++
可靠性寿命数据分析，加速测试和可靠性增长

B BlockSim
系统可靠性建模和RAM分析

λ λPredict
基于标准的可靠性预测

F XFMEA
FMEA及相关分析

M RCM++
以可靠性为中心的维护分析

X XFRACAS
故障报告、分析及纠正措施系统

S SEP
ReliaSoft软件平台的数据网页看板

D DesignLife
CAE疲劳仿真分析

G GlyphWorks
试验疲劳耐久数据分析与处理

V VibeSys
NVH 数据分析

q Aqira
基于网页的数据处理平台

A Automation
数据库管理与报告

nCodeDS
基于网页的数据流运算

主题

- 耐久性可靠性工作流程
- 在役载荷的重要性及表征
- 疲劳耐久性预测和可靠性分析
- 数值预测和实际结果的关联
- 耐久性可靠性试验验证
- 零部件使用失效信息收集及分析
- 耐久性可靠性软件工具nCode和ReliaSoft

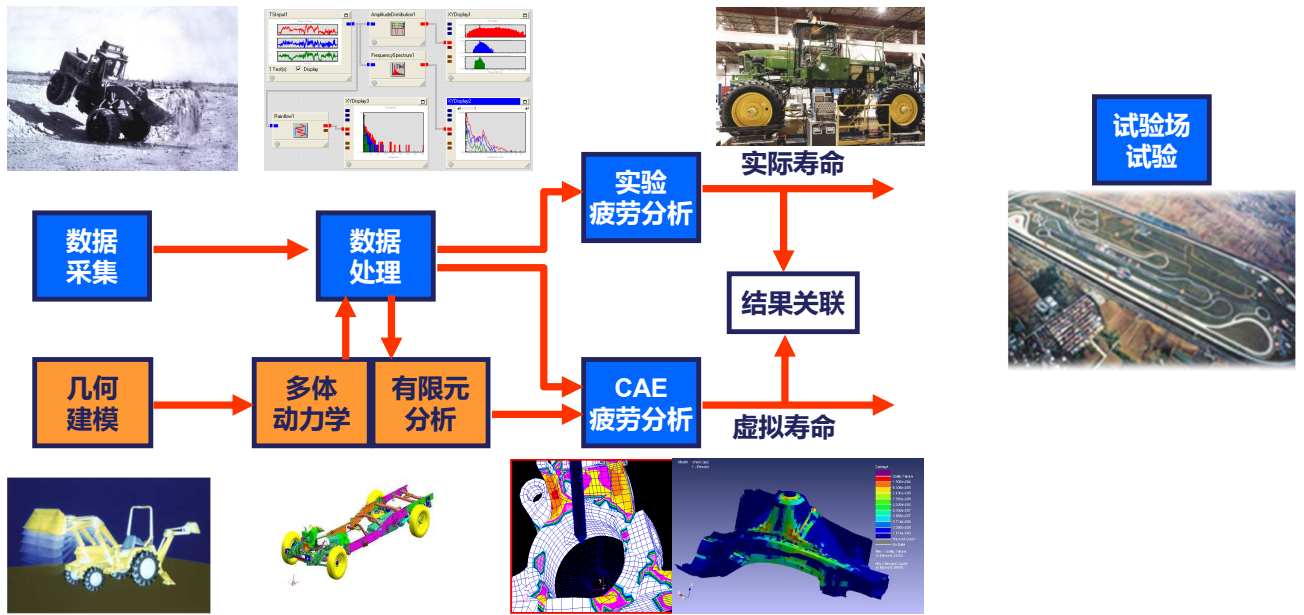
耐久性可靠性工作流程

可靠性和耐久性

- **可靠性**指的是在指定长的时间周期里有机会完成它应该做的事（不失效）的**概率**
- **耐久性**指的是在指定长的时间周期里完成它应该做的事（不失效）的**能力**，耐久性有时候也称之为结构可靠性
- **疲劳耐久性/可靠性**主要解决动态载荷所引起的结构零部件或电子元器件的疲劳失效问题

车辆设计目标

- 绝大多数用户使用20万公里？
- 超过90%的可能性95%的用户使用20万公里？
- **统计度量**
- 预期的功能
- 指定的时间
- **规定的条件**



产品开发过程的可靠性工作步骤及主要任务



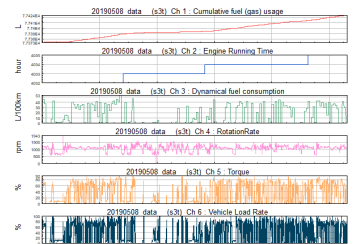
在役载荷的重要性及表征

在役载荷环境

- 车辆的耐久性/可靠性和载荷环境（路面、载重、气候等）紧密相关
- 很多零部件的寿命也和车辆的驾驶（使用）方式相关
- 主要载荷包括：力/力矩，压力，加速度，温度，湿度，电压等
- 耐久性/可靠性设计目标必须包含车辆在役载荷或与其对应和等效的环境，**没有指定载荷环境的车辆使用寿命是不确定的，可能和用户脱节！**
- 整车、系统、组件、零部件等都有各自的关键载荷，通常也需要设定不同的设计目标

载荷描述及表征

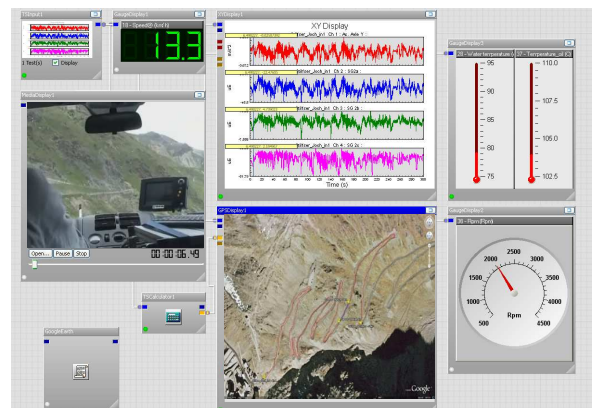
- 每个用户的载荷环境和使用方式是有区别的
- 通常只能获取少数典型用户的载荷和使用信息
- 必须使用统计分析方法，从少量数据外推出整个用户群的载荷特征
- 疲劳载荷通常需要提取出载荷中的循环变化及对应的频次
- 如何合理地描述表征整个用户群的载荷一直是耐久性和可靠性领域的一个大挑战



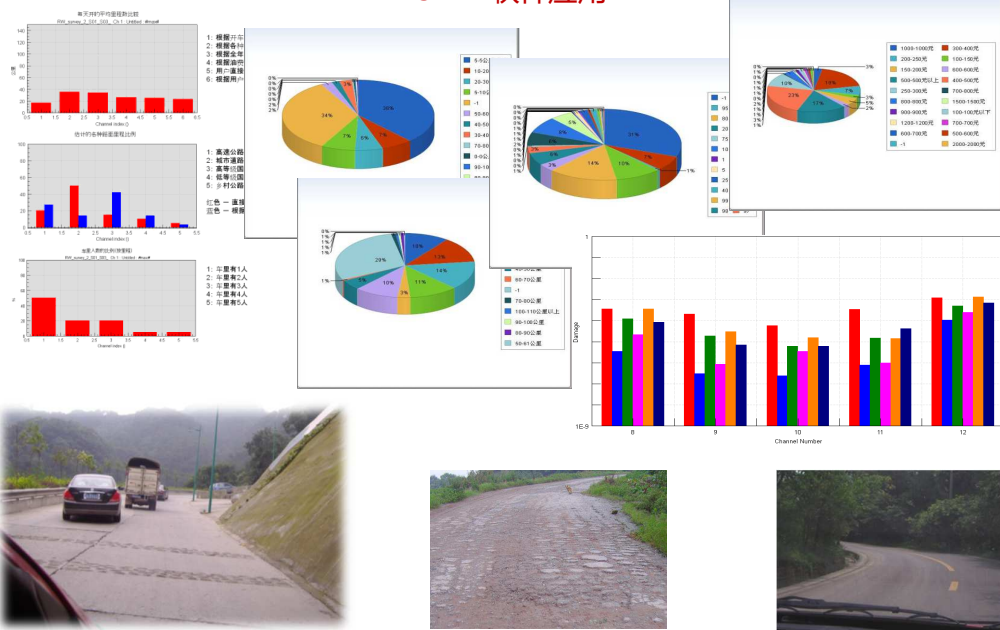
车辆载荷和用户使用信息获取

- 车辆载荷获取
 - 直接测试车辆系统的载荷和环境信息
 - 监控测量典型用户车辆的载荷信息
 - 实测和虚拟模拟相结合得到各系统或零部件的载荷
 - 完全虚拟模拟路面及车辆典型行驶
- 车辆使用信息获取
 - 用户调查
 - 监控测量典型用户车辆的使用信息

nCode 软件应用



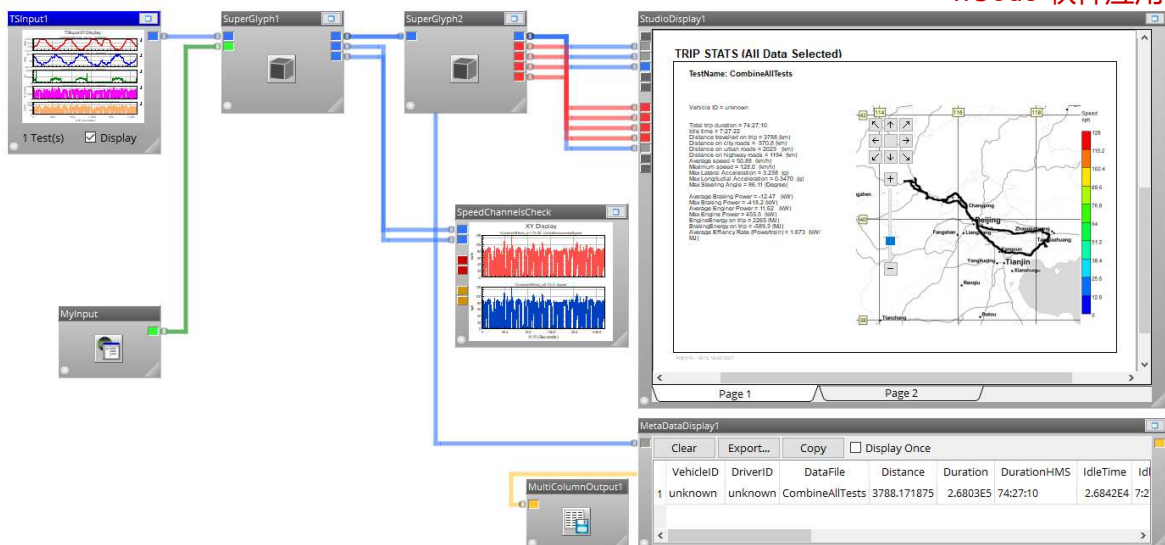
nCode 软件应用



GPS大数据综合分析案例

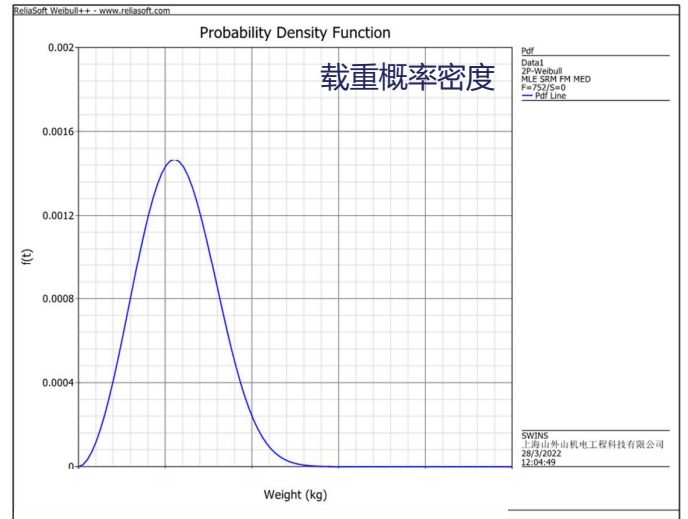
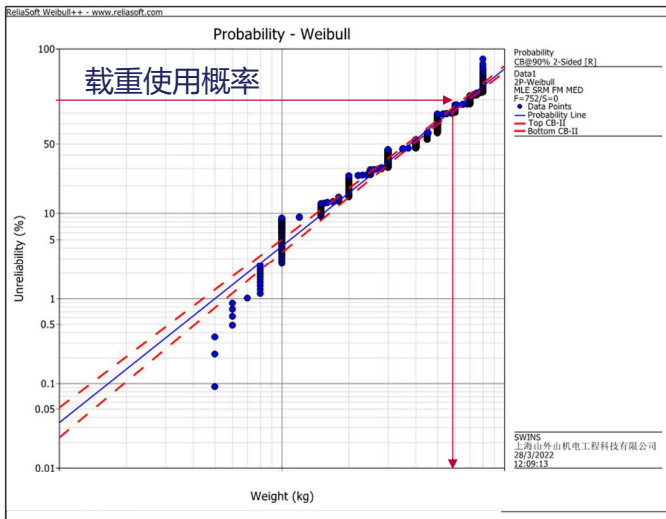
- 对GPS数据进行综合分析，输出显示全部轨迹、时间、里程、车速、侧向加速度、纵向加速度、方向角等统计量，以及相关量的统计分布

nCode 软件应用



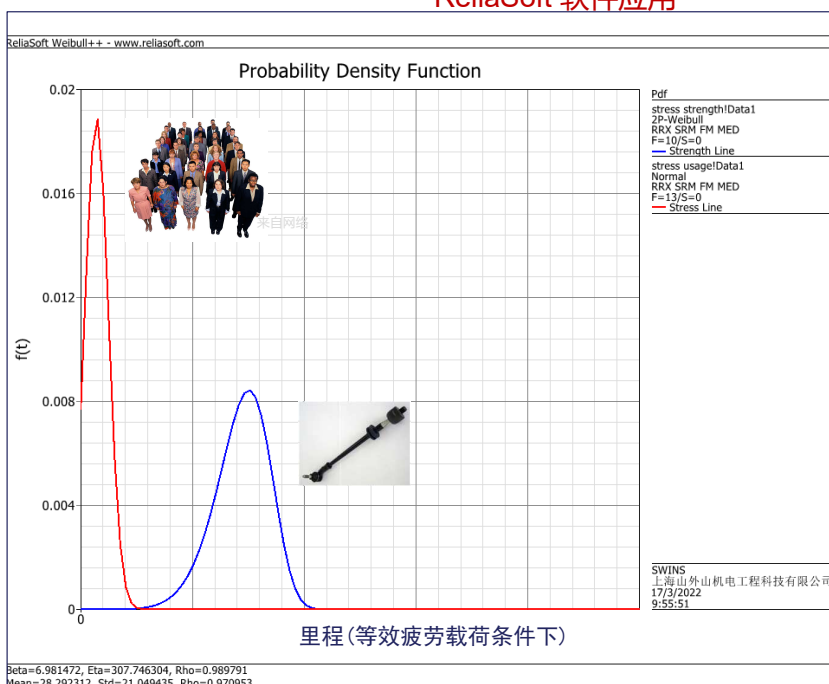
- 某型车辆载重使用分布分析

ReliaSoft 软件应用



ReliaSoft 软件应用

概率密度



Analysis

Stress-Strength

Results

Prob. of Failure 0.000004

Calculate Confidence

Level 0.9

Plot Settings

Units Hour (hr)

Auto Refresh

Keep Aspect Ratio

Scaling

Y 0 0.02

X 0 1000

Stress Parameters

Mean (sigma) 28.292312

Std (sigma) 21.049435

[W] stress_usage1>Data1

Strength Parameters

Beta 6.981472

Eta (sigma) 307.746304

[W] stress_strength1>Data1

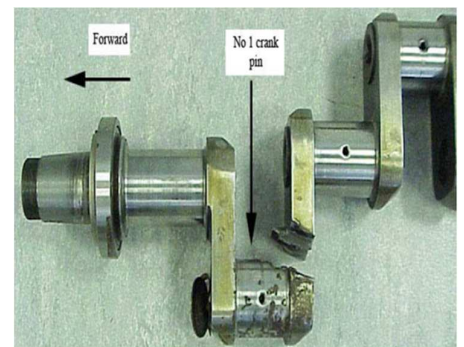
失效概率
0.000004

疲劳耐久性预测

© 2022 上海山外山机电工程科技有限公司 车辆耐久性可靠性关键技术及工程实践 2022年4月28日

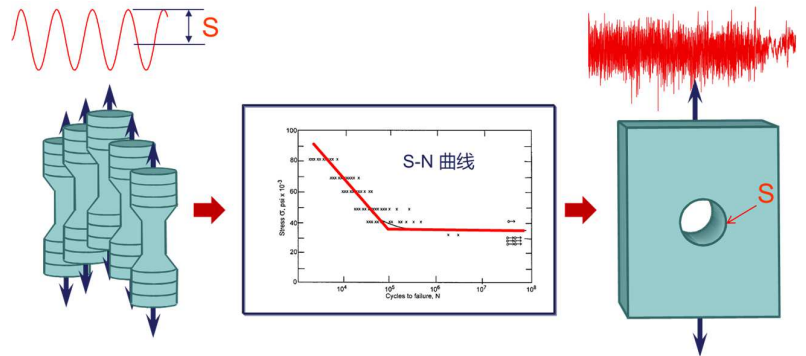
疲劳失效及预测

- 据统计，疲劳失效占结构失效的50-90%，疲劳是车辆耐久性/可靠性中最主要的失效模式
- 疲劳是由于载荷变化所引起，一般包含裂纹萌生和随后的裂纹扩展两个过程，循环塑性变形是金属产生疲劳的主要原因
- 金属结构和零部件的疲劳寿命可以基于小试样中获得的疲劳性能曲线，结合材料中的应力或应变变化进行预测
- 疲劳寿命预测可以很大程度上改进优化车辆结构和零部件的耐久性和可靠性，并帮助进行耐久性试验验证的简化和加速，是现代车辆设计必不可少的一个关键技术

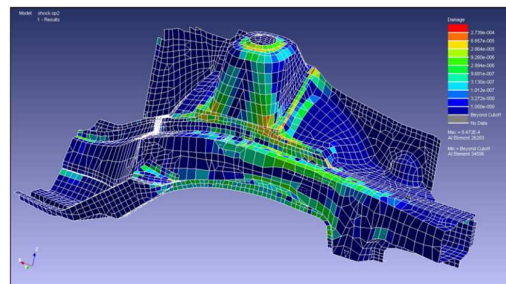
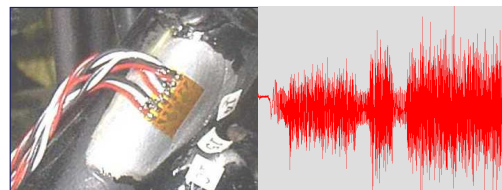


© 2022 上海山外山机电工程科技有限公司 车辆耐久性可靠性关键技术及工程实践 2022年4月28日

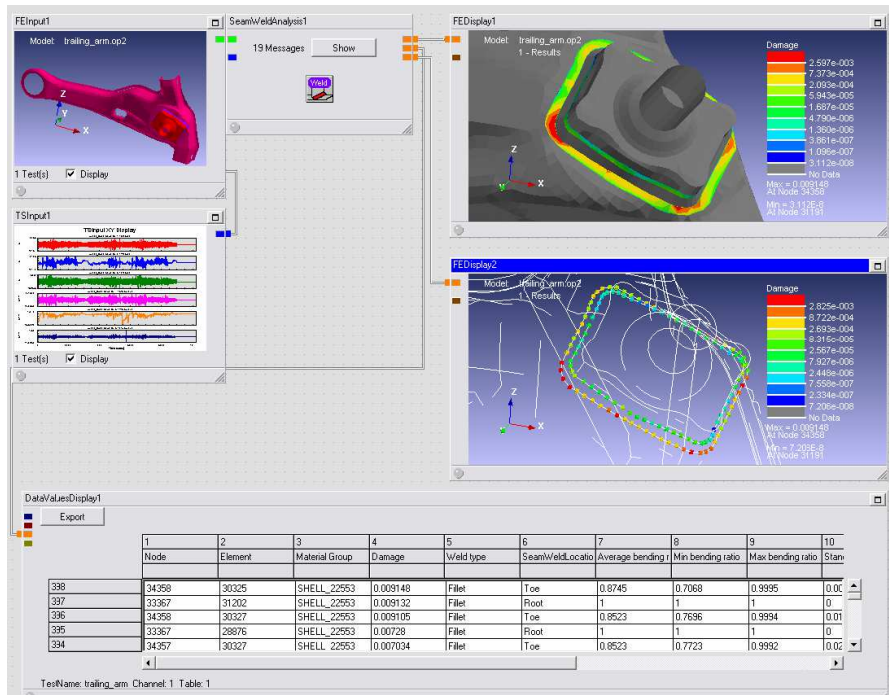
- 应力寿命分析方法
- 局部应变法
- LEFM 疲劳裂纹扩展法
- 焊缝分析法
- 焊点分析法
- Dang Van 高周多轴疲劳极限分析法
- 低周多轴疲劳分析法
- 安全因子方法
- 高温和热机疲劳分析法
- 频域疲劳分析法
- 短纤维复合材料疲劳分析法
- 粘接界面疲劳分析
- ...



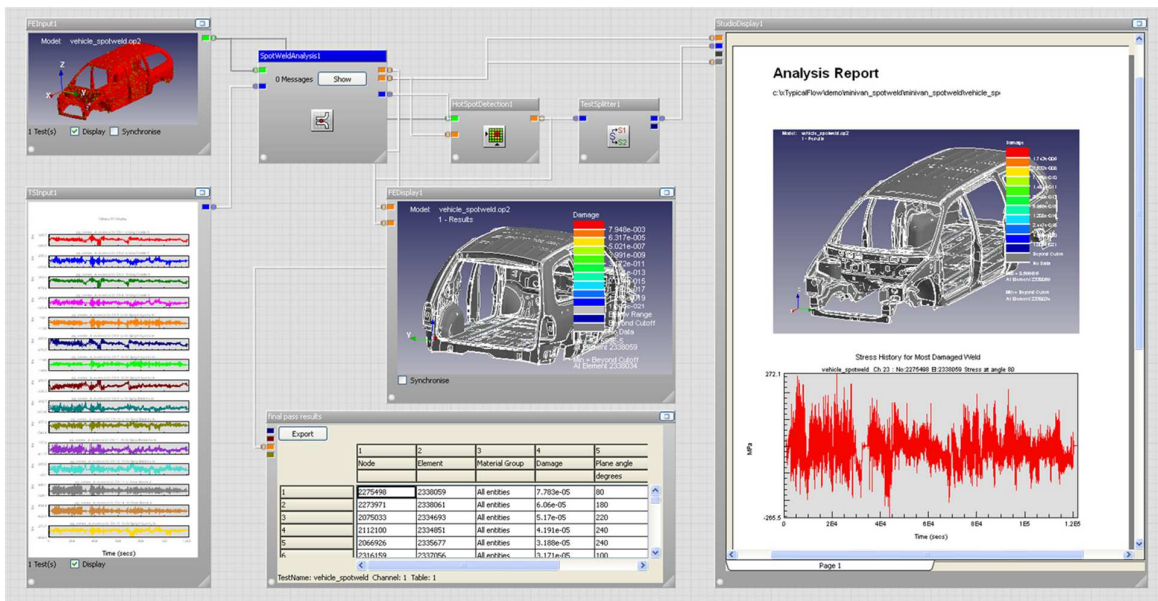
- 从关键位置的测试数据（如应变）预测寿命
- 从有限元分析结果预测，通常可以获得整个表面的寿命分布



nCode 软件应用



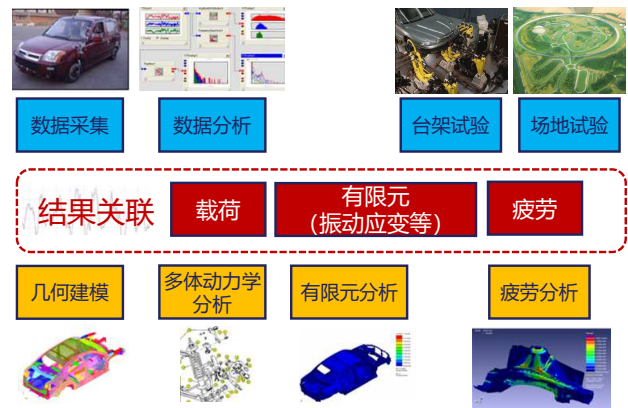
nCode 软件应用



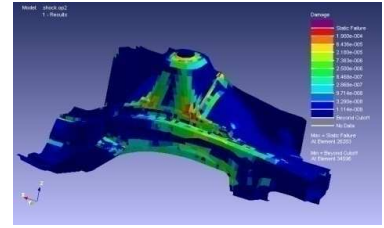
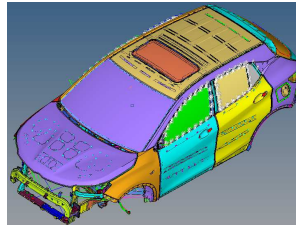
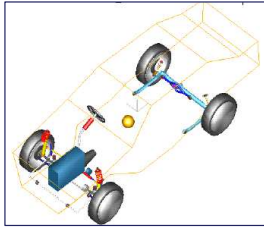
数值预测和实际结果的关联

什么是关联？

- 比较虚拟分析和真实试验结果的符合程度
 - 以验证虚拟分析的可信度
 - 为改进虚拟分析提供直接的数据
 - 为制定设计阶段的虚拟验证规范提供基础
 - 充分发挥虚拟分析在产品开发中的作用

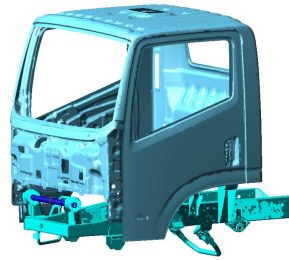


- 载荷关联
- 振动关联
- 应变关联
- 疲劳失效位置关联
- 疲劳失效寿命关联

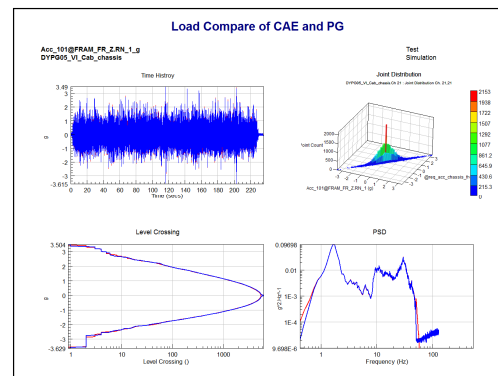


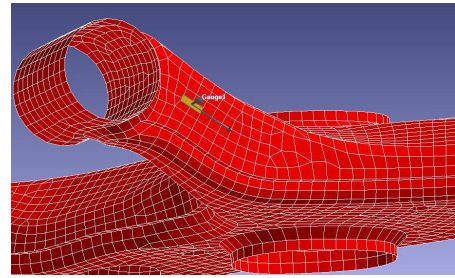
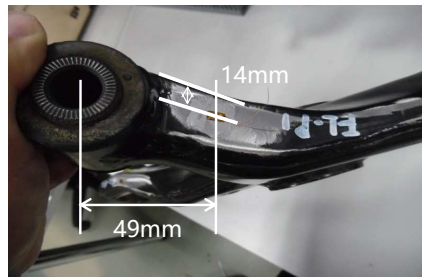
商用车振动关联案例

- 多体载荷模拟方法
 - 虚拟迭代
- 关联位置
 - 安装点悬置驾驶室侧X/Y/Z
 - 安装点悬置车架侧X/Y/Z
 - 驾驶室顶部加速度X/Y/Z

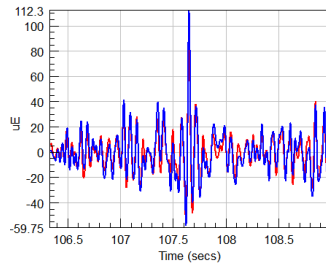


nCode 软件应用

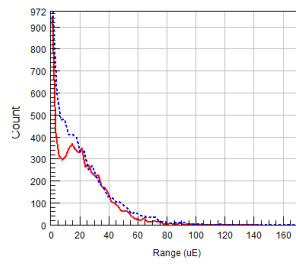




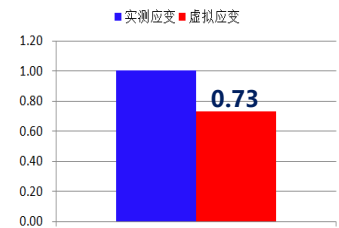
nCode 软件应用



时间历程

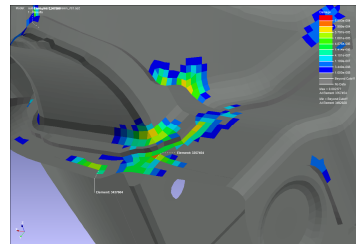
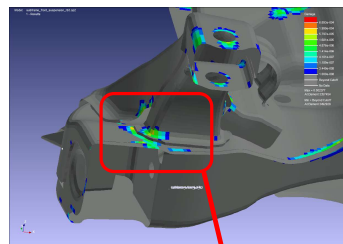


载荷循环分布



疲劳损伤

nCode 软件应用



耐久性可靠性试验验证

耐久性可靠性试验验证

- 耐久性/可靠性试验是车辆研发中非常重要的一环，直接关系到最终产品的耐久性和可靠性
- 试验设计和验证方法至关重要，既要符合系统的加载条件及设定的耐久性可靠性目标，又需要对试验进行合理的简化和加速
- 典型的试验有设计验证和产品验证，应用于不同的研发阶段
- 对于疲劳耐久性试验，通常可以使用疲劳损伤概念，对试验进行简化和加速；而对于非疲劳可靠性试验，可通过可靠性理论中的ALT（加速寿命）试验技术，实现试验加速



• 设计验证

- 验证零部件是否达到设计要求为目的
- 验证新的或改进的设计是否达到设计目标
- 建立零部件可靠性标准
- 通常为单一载荷的零部件试验
- 试验时间短
- 多样本试验



• 产品验证

- 验证系统集成耐久性为目的
- 试验对象通常为总成或整车
- 验证系统集成性
- 通常为道路模拟试验
- 试验时间较长
- 通常为单样件试验



典型试验类型

- 等幅疲劳试验
- 多级谱（块谱）疲劳试验
- 单轴或多轴变幅时域模拟试验
- 频域振动台疲劳试验
- 传动系试验
- 高、低温恒温试验
- 温度冲击试验
- 盐雾试验
- 多“应力”复合试验
-

关键词

- 幅值域
- 时域
- 频域
- 模拟试验
-



零部件试验



MAST试验



多轴悬架试验



整车试验



传动系试验

- 寿命目标是什么？
- 如何简化载荷（“应力”）？
- 幅值或“应力”值应该施加多少？
- 均值是否考虑？
- 如何进行试验加速？
- 加载顺序如何设计？
- 加载频率如何确定？
- 试验需要做多长时间或多少次循环？
- 需要做多少个样本试验？

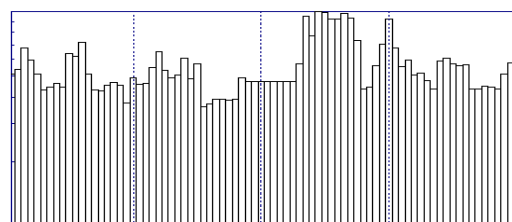
试验必须尽量简单并有加速，失效模式应当保持不变

副车架试验载荷简化



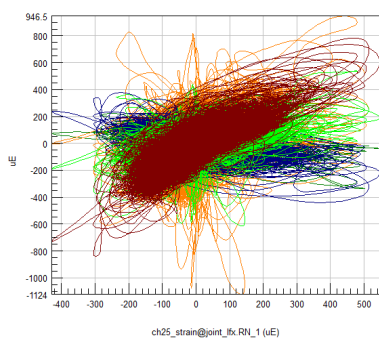
潜在损伤

↓ 潜在损伤关键方向

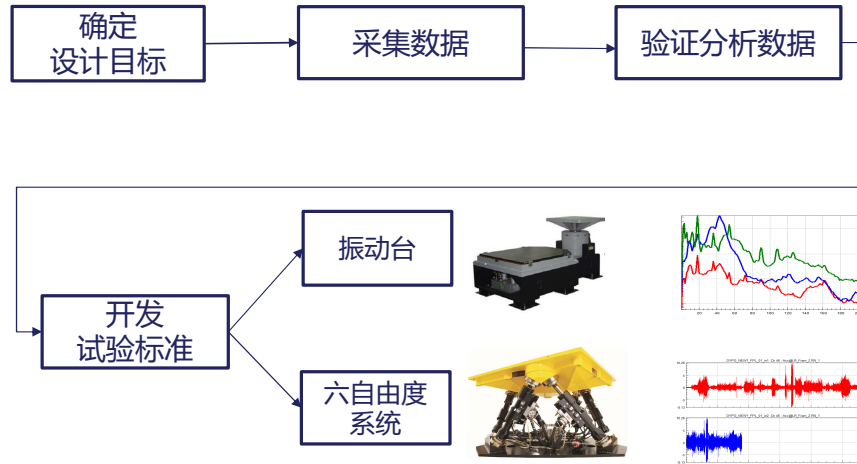
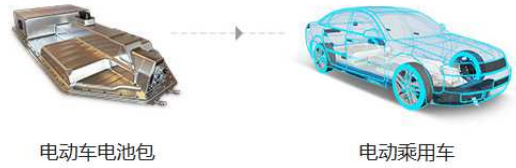


nCode 软件应用

方向组合序号

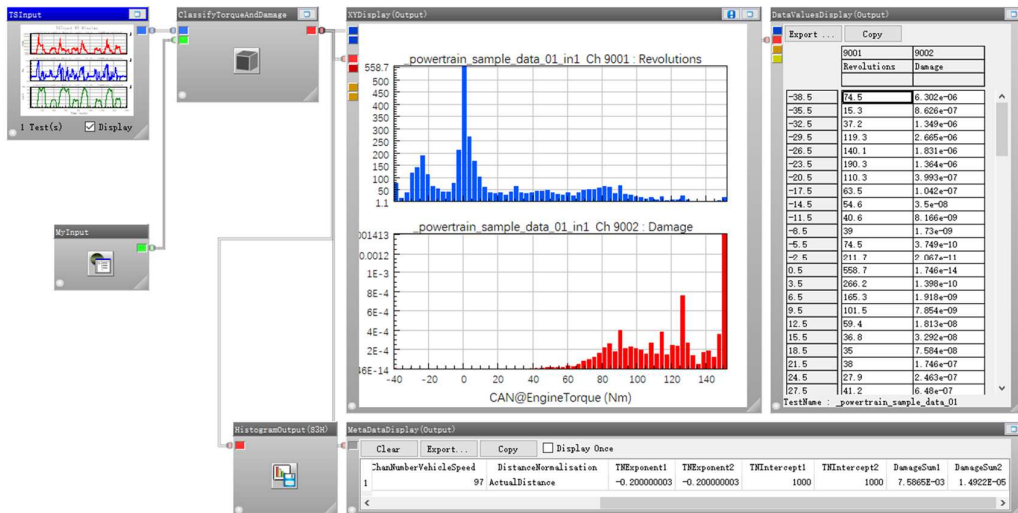


- 对于振动台试验，基于疲劳损伤谱等效
- 对于六自由度系统，基于损伤编辑



nCode 软件应用

nCode 软件应用

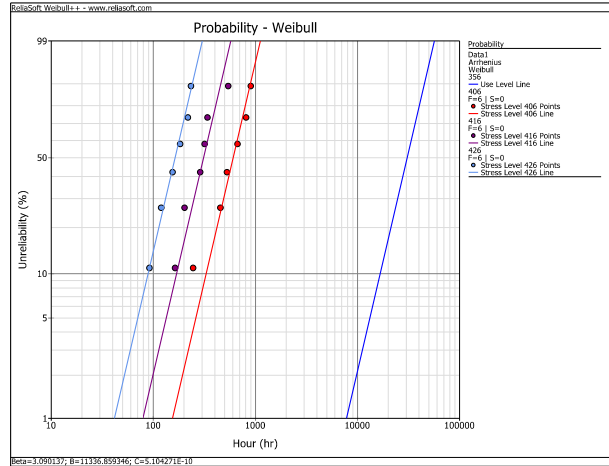
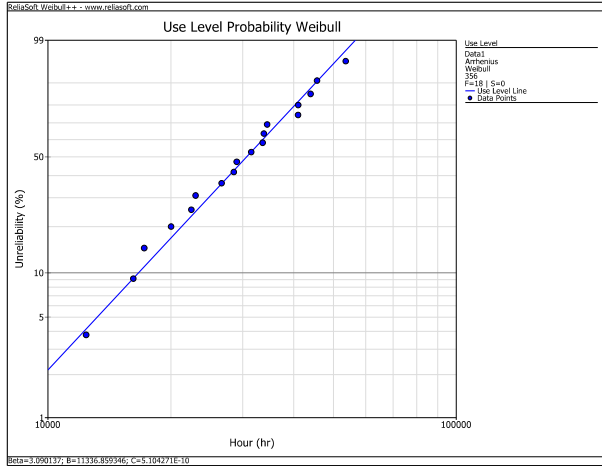


ALT (可靠性加速寿命试验) 分析案例

- 使用Arrhenius-Weibull 分析模型对温度老化引起的结构塑料件失效进行加速可靠性试验
- 从三个高温 (406K/416K/426K) 寿命试验结果得出用户温度环境下 (356K) 的可靠性指标



ReliaSoft 软件应用

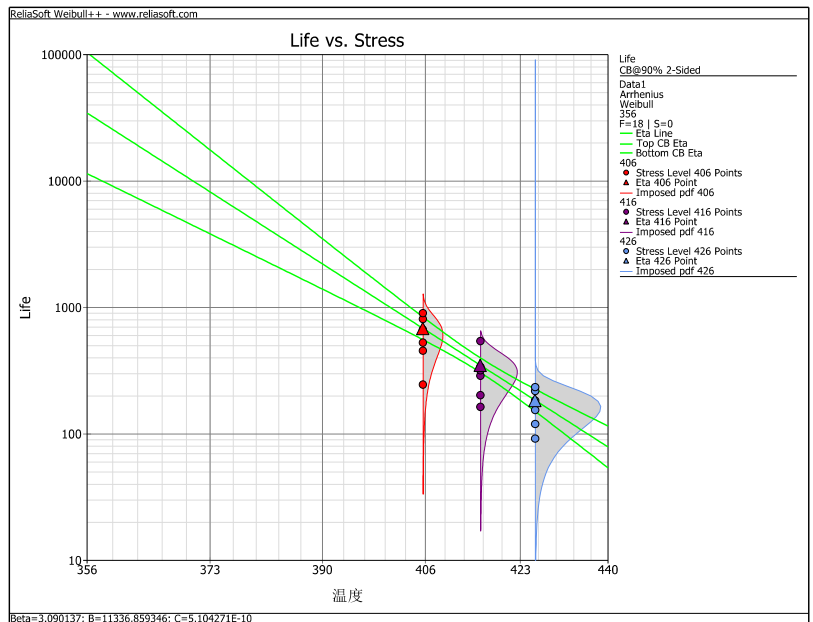


ALT (可靠性加速寿命试验) 分析案例 (续)

- Arrhenius寿命和温度的关系

$$\ln(L(T)) = \ln(C) + \frac{B}{T}$$

ReliaSoft 软件应用

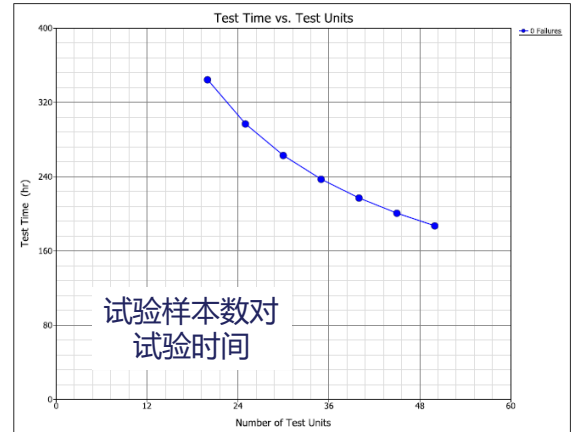


- 一家零部件供应商被主机厂要求证明其产品在使用500小时时有70%的信心它的可靠度至少为90%
- 按照试验时间和0故障，我们可估计出试验需要采用多少样本

- 怎么证明?
- 需要多长时间试验? 或需要多少样本?

ReliaSoft 软件应用

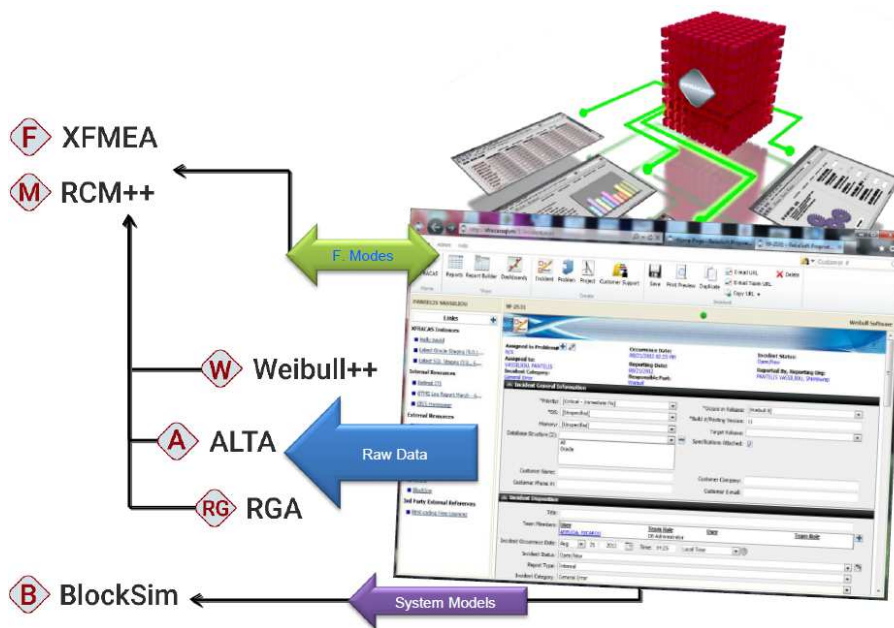
Design a reliability demonstration test	
What metric would you like to demonstrate?	
Metric	Reliability value at a specific time
Demonstrate this reliability (%)	90
With this confidence level (%)	70
At this time (hr)	500
Assume the failure rate behavior is governed by this distribution	
Distribution	2P-Weibull
With this Beta	1.5
Solve for this value	
Value	Required sample size
With this test time (hr)	300
With a maximum of this many failures	0
Results	
Sample size	25



零部件使用失效信息收集及分析

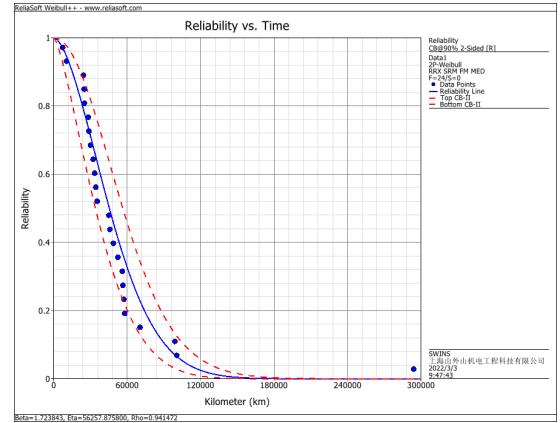
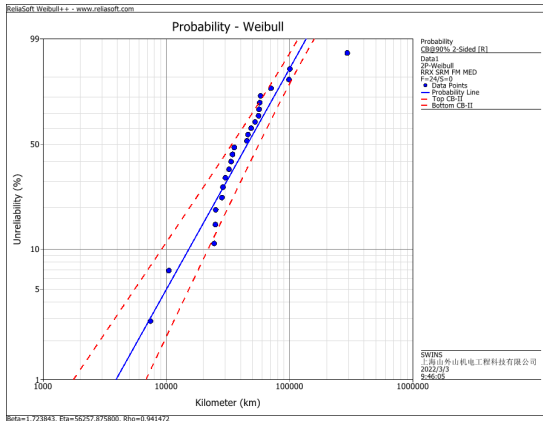
- 用户现场零部件的使用失效数据对于可靠性工程至关重要，可用于：
 - 评价产品的实际可靠性
 - 制定可靠性维护策略
 - 分析后续产品的可靠性
 - 发现产品的薄弱点
 - 优化零部件的可靠性试验
- 失效数据的收集管理需要尽可能规范化，平台化，网络化，方便企业可靠性相关部门之间，以及和外部上下游的数据交流，并形成企业内部的可靠性知识库和数据库

ReliaSoft XFRACAS 系统



- 从用户故障记录中某一部件的故障里程分析该部件的可靠性指标
- 使用Weibull分布，得到平均初始故障里程和B10初始故障里程分别约为50000km和15250km。
- 结果可以用来评价当前产品的可靠性，结合一些经济性参数它们也可以为合理的车辆保修期限制定提供数据基础！

ReliaSoft 软件应用



返修数据分析案例

- 我们从收集的返修记录数据（53宗），结合销售数据（14个月），分析B10可靠性指标，并预报后面的12个月可能返修数

销售记录

Sales Data	
Quantity In-Service	Date In-Service
69	1-Dec-2012
83	1-Jan-2013
75	1-Feb-2013
90	1-Mar-2013
115	1-Apr-2013
147	1-May-2013
89	1-Jun-2013
96	1-Jul-2013
110	1-Aug-2013
99	1-Sep-2013
118	1-Oct-2013
128	1-Nov-2013
135	1-Dec-2013
142	1-Jan-2014

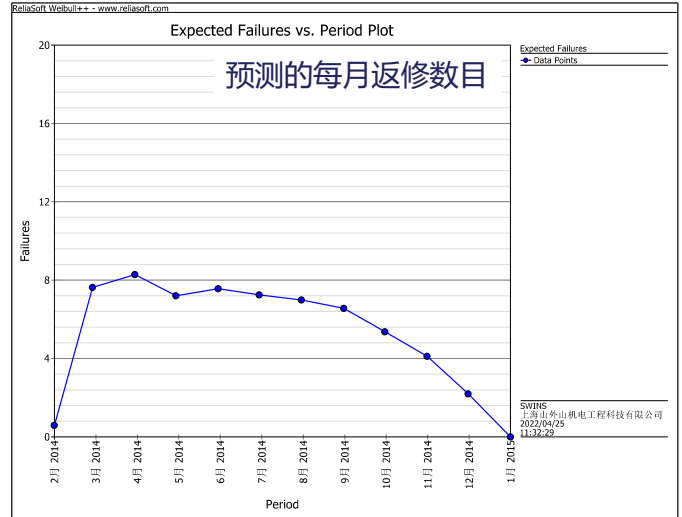
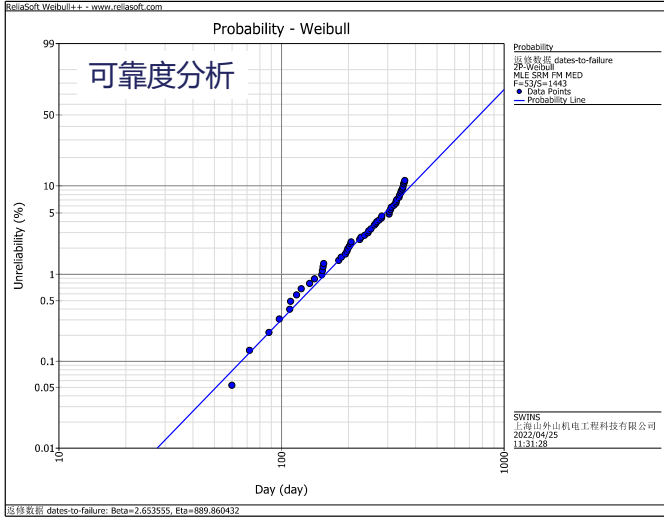
返修记录

Returns Data					
Quantity Returned	Date of Return	Date In-Service	Quantity Returned	Date of Return	Date In-Service
1	13-Jun-2013	1-Dec-2012	1	1-Aug-2013	1-Mar-2013
1	24-Jun-2013	1-Dec-2012	1	3-Nov-2013	1-Mar-2013
1	10-Sep-2013	1-Dec-2012	1	22-Nov-2013	1-Mar-2013
1	7-Oct-2013	1-Dec-2012	1	25-Jan-2014	1-Mar-2013
1	9-Oct-2013	1-Dec-2012	1	12-Jun-2013	1-Apr-2013
1	25-Oct-2013	1-Dec-2012	1	12-Nov-2013	1-Apr-2013
1	6-Nov-2013	1-Dec-2012	1	2-Dec-2013	1-Apr-2013
1	21-Nov-2013	1-Dec-2012	1	19-Dec-2013	1-Apr-2013
1	25-Nov-2013	1-Dec-2012	1	1-Jan-2014	1-Apr-2013
1	2-Mar-2013	1-Jan-2013	1	18-Aug-2013	1-May-2013
1	2-Jun-2013	1-Jan-2013	1	18-Jan-2014	1-May-2013
1	5-Jun-2013	1-Jan-2013	1	28-Aug-2013	1-Jun-2013
1	27-Sep-2013	1-Jan-2013	1	4-Dec-2013	1-Jun-2013
1	3-Nov-2013	1-Jan-2013	1	15-Jan-2014	1-Jun-2013
1	11-Dec-2013	1-Jan-2013	1	24-Jan-2014	1-Jun-2013
1	17-Dec-2013	1-Jan-2013	1	29-Dec-2013	1-Jul-2013
1	19-Dec-2013	1-Jan-2013	1	14-Jan-2014	1-Jul-2013
1	22-Dec-2013	1-Jan-2013	1	16-Jan-2014	1-Jul-2013
1	12-Oct-2013	1-Feb-2013	1	19-Jan-2014	1-Jul-2013
1	10-Nov-2013	1-Feb-2013	1	23-Jan-2014	1-Jul-2013
1	3-Dec-2013	1-Feb-2013	1	20-Dec-2013	1-Aug-2013
1	19-Dec-2013	1-Feb-2013	1	2-Jan-2014	1-Aug-2013
1	25-Dec-2013	1-Feb-2013	1	8-Dec-2013	1-Sep-2013
1	5-Jan-2014	1-Feb-2013	1	2-Jan-2014	1-Sep-2013
1	13-Jan-2014	1-Feb-2013	1	13-Jan-2014	1-Sep-2013
1	24-Jan-2014	1-Feb-2013	1	26-Jan-2014	1-Oct-2013
1	19-Jun-2013	1-Mar-2013			

• 主要分析结果

ReliaSoft 软件应用

Warranty Analysis: 返修数据 dates-to-failure	
Upper Bound (0.95)	417.472536
B10% Life	381.079172 day
Lower Bound (0.05)	347.858416
BX% Life	day 25-Both Captions On



耐久性可靠性软件工具 nCode 和 ReliaSoft

- 疲劳耐久性可靠性工程领域的专业供应商
- 英国 HBK-nCode 软件中国独家总经销商
- 美国 HBK-ReliaSoft 软件中国独家总经销商
- 美国 HBK-SoMat 数据采集器中国总代理
- 英国 Millbrook 车辆试验技术中国合作伙伴
- 丹麦 SVB-ARTEMIS 模态分析软件中国区代理
- SWINS 耐久性可靠性工程技术服务
- SWINS 应用流程包自主开发

nCode

ReliaSoft

HBK HOTTINGER
BRÜEL & KJÆR

请关注SWINS官方微信公众号



www.swins-china.com

HBK 可靠性和耐久性软件

ReliaSoft

nCode

W Weibull++

可靠性寿命数据分析, 加速测试和可靠性增长

F XFMEA

FMEA及相关分析

D DesignLife

CAE疲劳仿真分析

q Aqira

基于网页的数据处理平台

B BlockSim

系统可靠性建模和RAM分析

M RCM++

以可靠性为中心的维护分析

G GlyphWorks

试验疲劳耐久数据分析与处理

A Automation

数据库管理与报告

λ λPredict

基于标准的可靠性预测

X XFRACAS

故障报告、分析及纠正措施系统

V VibeSys

NVH 数据分析

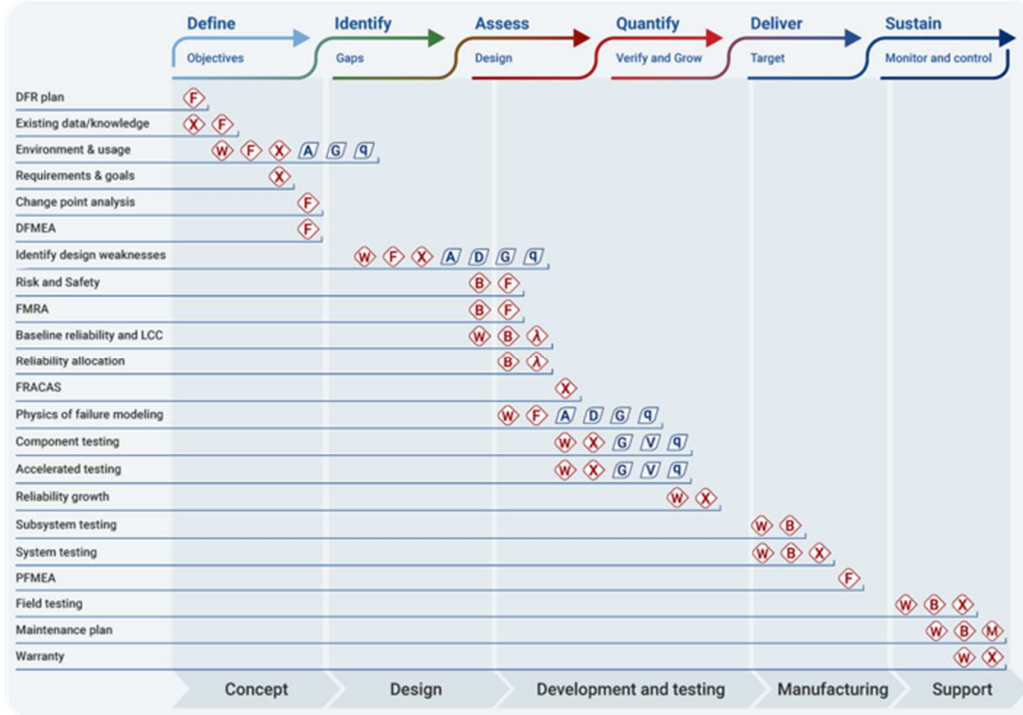
nCodeDS

基于网页的数据流运算

S SEP

ReliaSoft软件平台的数据网页看板

详细软件产品资料可访问 <http://swins-china.com>



ReliaSoft

nCode

寿命数据分析, 加速寿命试验, 可靠性增长和DOE分析

可靠性系统建模和RAM分析

基于标准的可靠性预测

以可靠性为中心的维护分析, 基于风险检测, 故障报告、分析及纠正措施系统

数据处理与耐久分析

基于CAE的疲劳寿命预测

频率以及和振动相关的分析

试验结果与CAE结果对标分析

- 企业级疲劳耐久性/可靠性平台建立指导
- 帮助解读国外的设计及试验标准
- 工程数据采集及分析服务
- 台架时域或频域疲劳试验标准评价及建立
- 结构的寿命验证分析（焊缝和基体材料）
- CAE虚拟疲劳设计分析
- 多体动力学分析及有限元分析
- 材料测试及疲劳性能数据获取
- 疲劳理论及工程应用培训
- 可靠性理论及应用培训
- 剩余寿命评估项目合作
- 科研项目的合作研究
-

典型技术服务项目

- 乘用车RLD采集
- 商用车RLD采集
- SUV悬架系统测试
- 乘用车排气系统RLD采集
- 乘用车传动系统载荷测试
- 挖掘机载荷测试
- 大型卡车车桥RLD测试
- 客车主客观性能评价
- 乘用车中国区载荷谱采集
-
- 减震器耐久试验加速
- 4-poster台架标准制定
- 24通道模拟台架载荷谱编辑
- 多轴耦合试验台架数据编辑
- 车辆扭力梁试验标准制定
- 副车架试验标准制定
- 发动机悬置系统试验方案
- 挡泥板支架台架试验标准
- 电池包振动标准开发制定
- 电动车传动系试验标准开发
-

详细技术服务资料可从网站上下载
http://swins-china.com/qcgy/list_17.aspx



www.swins-china.com

上海山外山机电工程科技有限公司
support@swins-china.com

请关注SWINS官方微信公众号

