



本文以路谱载荷的多通道试验中某副车架开裂失效为研究对象，建立前副车架多通道试验台架，对失效点进行具体原因分析及优化，对优化方案重新进行试验验证，试验结果满足要求。

□ 上海理想汽车科技有限公司 吴云飞

基于路谱载荷的某前副车架多通道试验的开发及设计优化

随着汽车产业的高速发展，为了缩短产品的研发周期，如何利用试验验证方法在设计验证阶段快速发现零部件的设计问题并进行设计优化？这是新时期汽车开发工程师面临的问题。车辆及零部件的疲劳耐久性验证主要有3种方法：CAE耐久仿真分析、零部件台架耐久试验和整车试验场耐久试验。在新产品开发过程中整车试验场耐久试验如果只考核单一的零部件，试验周期长、成本高且重复性差。室内台架试验由于重复性好、试验周期短等优点，是目前汽车零部件开发过程中的重要手段。因此，建立一种与试验场路试关联性较好，又能快速复现失效模式和验证改进方案的零部件级基于路谱的多通道室内台架试验显得尤为重要。本文以某车型前副车架为例，通过远程参数控制RPC（Remote Parameter Control）技术来模拟前副车架在道路上的实际使用载荷，对副车架针对性开展疲劳试验，使零部件得到充分验证。

副车架多通道台架试验的建立

根据道路谱载荷计算副车架的疲劳寿命，基于低寿命点疲劳损伤基本等效原则建立副车架台架试验的边界条件，最终确定四通道副车架台架试验边界。

1. 球头点道路载荷谱采集

道路载荷谱采集试验得到车辆在实际道路行驶中的载荷信息，在该车实际使用地区的公共道路或者试验场进行实车道路试验，以获取道路载荷谱。道路载荷谱采集的目的主要包含以下5个方面。

1) 用于进行用户关联研究，建立试验与用户使用的关联关系，进行基于用户使用的耐久性试验开发。

2) 为整车或系统的道路模拟试验提供迭代目标信号和监控信号。

3) 进行台架耐久试验谱开发，指定汽车系统/零部件的耐久试验标准。

4) 为载荷谱分解和结构开展CAE分析提供必要的输入载荷数据。

5) 为零部件的设计开发提供载荷输入。

道路谱载荷信号采集的选取应对路面不平度比较敏感，从而提高信号的信噪比。信号采集点应靠近室内台架的作动器位置以易于后期开展室内的道路模拟试验。选择四个车轮和前下摆臂球头的三向力（ F_x 、 F_y 、 F_z ）和三向力矩（ M_x 、 M_y 、 M_z ）为目标测量信号，摆臂球头点的信号将用于前副车架的多通道台架试验。采集的原始信号要进行预处理才能提供给下一部门使用，这里就不详细描述载荷的预处理过程。

2. CAE计算分析多通道台架试验边界

道路谱采集了轮心的力和力矩，通过ADAMAS软件对载荷谱进行分析，求解出副车架各点的载荷信息。运用CAE分析软件计算出副车架在疲劳路谱载荷下的寿命，副车架主要的低寿命点如图1所示。副车架的零部件级台架试验通常在球头处加载，且只能加载X和Y方向，因此本文研究的副车架基于路谱的台架试验是四通道试验，左右摆臂球头处分别加载 F_x 和 F_y ， F_z 以及力矩只

能被忽略。通过 CAE 计算分析基于各种不同的边界条件下的低寿命区域的疲劳寿命，最终选择副车架安装点处连接一定厚度的钢板，同时试验过程中需要带转向器、稳定杆和碰撞杆的边界条件下的疲劳寿命跟实际情况最接近。根据 CAE 分析计算台架试验边界如图 2 所示。

副车架多通道台架试验的开展

- 1. 加载点信号校准
 - (1) 贴应变片
 - 试验的路谱载荷为摆臂球头处采集的试验路谱，试验过程中为了获得左右控制臂的载荷，需要使用应变片采集应变与载荷之间的关系，左右两边的载荷分别为 F_x 和 F_y ，因此分别贴 4 个应变片组成 2 个半桥，应变片贴片位置如图 3 所示。
 - (2) 左右控制臂标定
 - 此副车架的多通道试验需要对试验零部件输入左右控制臂的 F_x 和 F_y ，因此需对控制臂标定以获得力和应变之间的关系，这是决定响应载荷是否准确尤为关键

的一步。通常只需做线性标定，在路谱载荷中均匀地选择 5 ~ 8 个力值点用于线性标定。完成控制臂应变片布置后，通过台架上的标准力传感器施加一定范围内的载荷，从而将应变测量转换为载荷的测量。

- 2. 加载点信号迭代处理
 - (1) 迭代流程原理
 - 在副车架进行路谱台架试验过程中，需要运用 RPC 技术对路谱进行迭代，迭代过程中要对实际道路行驶中采集得到的各种响应输出信号与试验台加载设备上的响应输出信号进行不断的比较，反复回馈迭代进行修正完成载荷的迭代。如图 4 所示，迭代流程主要分以下步骤：
 - 1) 对原始随机谱载荷进行识别和分析，得到试验所需要的期望响应信号。
 - 2) 用白噪声信号对试验系统加载，据此计算得到输入功率谱、输出功率谱及自功率谱，求出测试台架系统的频率响应函数。
 - 3) 根据逆频率响应函数和期望响应，计算生成初始驱动

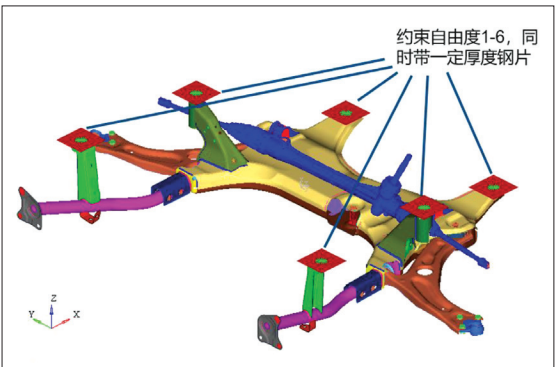


图 2 副车架台架试验边界

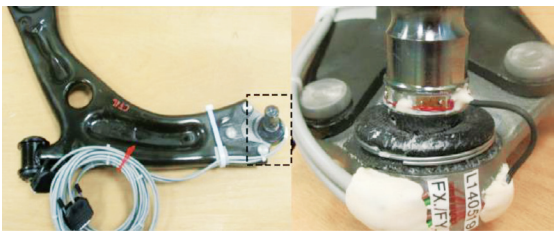


图 3 应变片贴片位置

- 信号。
 - 4) 通过迭代反复修正初始驱动信号，最终得到台架试验的驱动信号。
- (2) 迭代过程
- 将标定好的控制臂总成与需要进行试验的副车架装配在一起，然后对应应变片的响应信号进行迭代。在迭代过程中输出结果如果不收敛会导致驱动信号超设备限值引起作动器故障，因此需要根据实时响应的修正情况对迭代的反馈系数进行不断调整。当修正效果比前一步好时可以适当增大反馈值，相反则应当减小，通过不断进行迭代和反馈系数调整从而使迭代后的信号满足标准要求。

响应文件与目标路谱文件的对比主要包括三个方面：时间域、功率谱密度和相对损伤值。时间域通过曲线重复度比较及均方根计算结果，计算最大、最小和偏差的对比统计。频域内比较的是功率谱密度吻合度。相对损

CAE分析	低寿命区域 1	低寿命区域 2	低寿命区域 3
路谱分解载荷计算	1.7 life 	2 life 	6 life
4 通道试验边界计算	1.7 life 	3.2 life 	3.5 life

图 1 低寿命点疲劳对比基于四通道试验边界和路谱分解计算

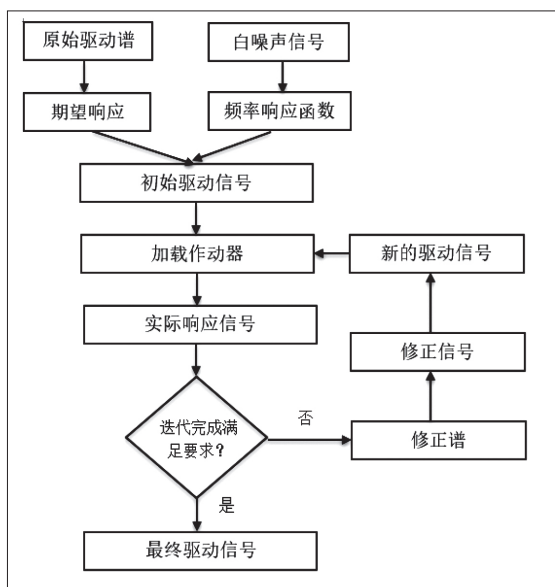


图4 迭代流程图原理图

伤值是对比响应文件和目标路谱文件的伪损伤。迭代过程中需要考虑，时域和功率谱方面吻合度不好时，相对损伤值也会有较大的偏差。标准要求试验的迭代目标为最大和最小统计偏差要求均为 $100\% \pm 5\%$ ，均方根偏差小于 5% ，相对损伤值要求为 $100\% \pm 5\%$ 。

在迭代到第 17 步时，最大统计偏差值为 104% ，最小统计偏差值为 100.4% ，均方根偏差值为 3.1% ，相对损伤值是 102% ，都满足标准要求，路谱迭代完成。

3. 副车架 4 通道试验开展

路谱信号迭代完成符合目标要求后开始进行台架试验搭建，台架试验的约束边界需跟 CAE 计算约束边界保持一致。如图 5 所示，试验中需要装配控制臂总成、前防撞杆、转向器支架及稳定杆，同时副车架和前防撞杆均安装在指定厚度的钢板上，钢板的规格和厚度需跟 CAE 分析中的完全一致。试验过程中需要压缩空气冷吹橡胶衬套防止衬套在

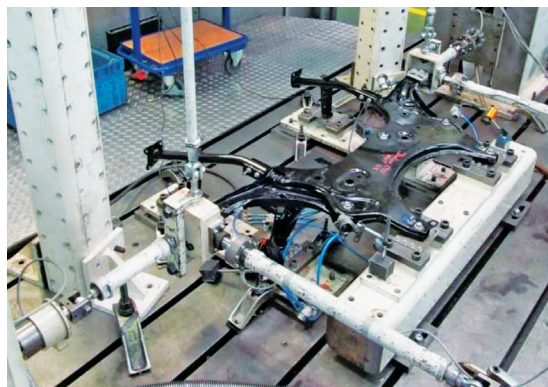


图5 台架试验运行图



图6 副车架多通道裂纹 1

试验过程中过热，导致衬套提前损坏而影响试验的开展。在试验过程中需要跟踪相对损伤随着试验的开展以及衬套的磨损等的变化而降低，当相对损伤低于目标时需要对系统进行迭代修正以保证响应信号都在目标范围内。

开裂点分析及优化

试验过程中低寿命 1 和 3 位置均出现开裂，针对开裂点进行原因分析，排除焊接质量问题，最终通过改进设计提高了开裂位置的疲劳寿命，最终解决了开裂问题。

1. 试验开裂问题点

试验运行至载荷谱 70% 时发现 CAE 计算的低寿命区域 1 出现开裂，裂纹长度为 9 mm ，如图 6 所示。继续进行试验，在

试验运行至 150% 循环时，CAE 计算的低寿命区域 3 出现裂纹，长度达到 42 mm 左右，如图 7 所示。试验目标要求为 100% 不能出现开裂，200% 循环时不能功能性失效。试验不满足要求，需要对开裂失效点进行具体原因分析并进行优化。



图7 副车架多通道裂纹 2

2. 焊缝质量检测

首先分析开裂点位置是否存在质量问题而导致开裂，在开裂位置附近焊缝进行切片检查，如图 8 所示，焊缝熔深均满足图纸要求，没有质量问题。

3. 设计优化

CAE 理论分析并不可能与实际载荷加载情况完全一致，从这个试验结果分析试验验证是非常有必要的。针对开裂位置的失效原因排查确认不是焊缝质量问题，同时开裂点本身 CAE 疲劳寿命也不高，综合考虑建议对设计进行优化提高疲劳寿命。

针对开裂点 1 对支架进行相应的结构优化，如图 9 所示。翻边结构加长同时焊接处圆滑过渡以提高疲劳寿命，新的设计此处疲劳寿命从 1.7 life 提高到 9.7 life。针对开裂点 2 进行设计优化，原设计为分段焊接，焊缝末端疲劳寿命在 4 通道试验中为 3.5 life，通过各种分析研究设计从分段焊接改成全焊接，如图 10 所示。

零部件修边线根据匹配零部件进行相应调整，改成全焊

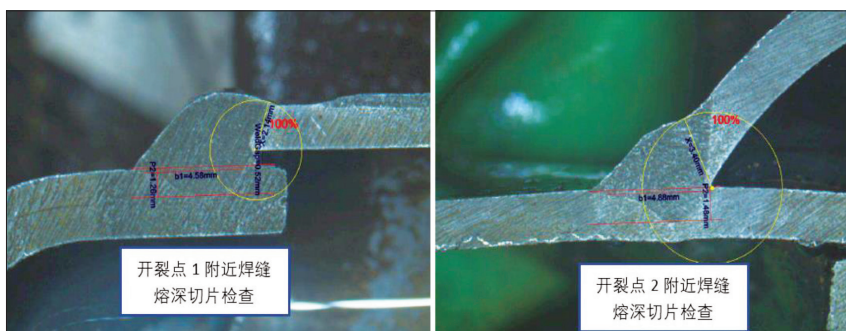


图 8 副车架开裂位置焊缝切片质量

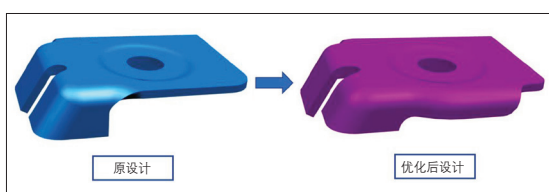


图 9 开裂点 1 设计优化



图 10 开裂点 2 设计优化

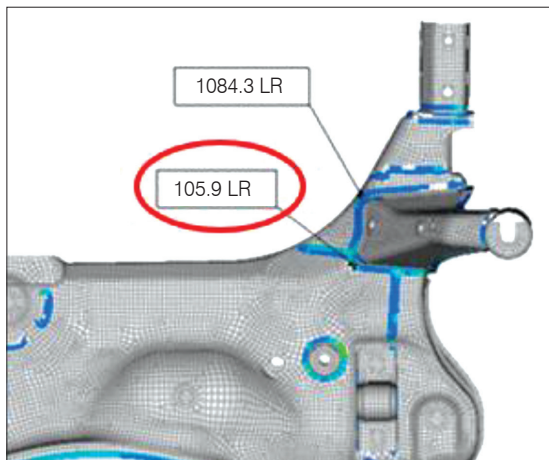


图 11 开裂点 2 新设计疲劳寿命

缝焊接后此处 CAE 疲劳寿命提高到 105.9 life，如图 11 所示。经过设计优化后，开裂点处的疲劳寿命都有较大提高。对新设计重新进行试验，试验运行到 200% 循环时均无开裂，设计满足要求。

总结

(1) 通过 CAE 计算根据主要风险点疲劳寿命等效原则建立前副车架的台架试验搭载边界。多通道试验过程中，副车架、碰撞杆与车身安装点需要一定规格和厚度的钢片进行连接，同时需装配转向机和稳定杆等零部件。

(2) 基于 PRC 技术对提供的路谱文件进行贴片校准标定并迭代以达到标准要求，然后开展试验。

(3) 试验过程中出现失效开裂，对失效点进行具体原因分析。对产品进行优化设计，再次测试的结果满足设计要求，验证了改进方案的可行性。本文的分析和优化思路，对于基于路谱的副车架多通道台架试验及设计验证有一定的参考意义。AI

Optimize Your Process



Vacu² 助力工业化大规模系列化生产模式下的结构件高压铸造工艺

您能获得的附加价值

- 提高工艺安全，加强过程控制
- 提升零部件质量
- 采用可靠的过程控制降低废品率
- 加快工艺优化进程，优化模具和排气阀设计，降低成本

广告
PFEIFFER VACUUM

Your Success. Our Passion.

Pfeiffer Vacuum
(Shanghai) Co., Ltd.
普发真空技术(上海)有限公司
T +86 21 3393 3940
www.pfeiffer-vacuum.cn



官方微信