

整车强化腐蚀试验转场判定的方法

刘东俭, 沈玥, 朱淮烽

(中汽中心盐城汽车试验场有限公司, 江苏 盐城 224100)

摘要: **目的** 为了保证在不同试验场转场试验结果的一致性, 整理出一套合理的转场验证流程。**方法** 对整车强化腐蚀试验需要用到的特殊道路、设备进行考察, 再通过对比不同试验场试验车辆的结果, 通过层层验证并对最终结果进行加权计算, 得出最终的结果一致性。**结果** 首先验证道路及设备的基本参数, 然后对整车腐蚀试验结果的腐蚀深度 (D) 及划线扩蚀量 (L) 一致性进行验证, 所有基本参数都通过后, 最终对整车所有零部件主观评价得分 (G) 进行对比。得分对比的结果结合市场反馈的质量问题配比进行加权计算, 最终得出两试验场试验一致性的数值 86.2% (R)。**结论** 利用该方法可以全方位地将试验场之间进行对比, 科学地判定试验场是否满足整车强化腐蚀试验的转场要求。

关键词: 整车腐蚀; 转场对标; 腐蚀强度; 评价

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2019.08.005

中图分类号: TG172

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2019)08-0021-07

Evaluation Method for Test Ground Transferring of Vehicle Corrosion Test

LIU Dong-jian, SHEN Yue, ZHU Huai-feng

(CATARC Yancheng Automotive Providing Ground Co., Ltd, Yancheng 224100, China)

ABSTRACT: Objective To sort out a series of reasonable verification process before transferring test grounds to ensure the consistency of the test results in different grounds. **Methods** Roads, equipment and facilities to be used for intensified vehicle corrosion test were investigated and the results of vehicles in different test grounds were compared. Finally, the consistency of the final results was obtained by means of multi-layer verification and weighted calculation. **Results** Firstly, basic parameters of road and equipment were verified. Then the consistency of corrosion depth (D) and scribe lines (L) was verified. After all the basic parameters passed the verification, the subjective evaluation grades of all parts of the whole vehicle were compared. The result of grades comparison was weighted by the proportion of quality problems given by market feedback. Finally, the consistent values (G) 86.2% of the two test sites were obtained. **Conclusion** This method can be used to comprehensively compare the test fields and scientifically determine whether the test field meets the requirements on test ground transferring of the vehicle corrosion test.

KEY WORDS: corrosion test; transferring test grounds; corrosion depth; evaluation

随着人们工作节奏的加快, 汽车已成为人们工作及生活中必不可少的工具, 同时随着人们生活水平的提高, 对汽车产品的要求也不断提高。腐蚀问题是消费者可以直观感受的问题, 腐蚀不仅直接影响车辆外观, 导致消费者满意度下降, 更重要的是会改变零部

件的使用环境, 影响车辆的使用安全, 诱发交通事故^[1]。因此许多整车企业都会对产品的耐腐蚀性进行试验分析, 特别是欧洲及北美沿海的高纬度地区的企业, 如福特、沃尔沃、路虎、大众等企业, 他们都有完善的设计、试验、评价体系, 并建有用于测试车辆

收稿日期: 2019-01-04; 修订日期: 2019-01-17

作者简介: 刘东俭 (1989—), 男, 工程师, 主要研究方向为汽车耐久试验。

耐腐蚀的试验场地,而国内自主品牌在21世纪初才开始有针对性地整车耐腐蚀性进行试验研究。

合资企业为节省成本,缩短研发周期,希望在国内进行强化腐蚀试验。同时自主品牌随着新产品的增多,测量量也不断增多。单一试验场的试验容量有限,为了避免延误试验进度,这些企业都希望在多个场地进行整车强化腐蚀试验。不同试验场之间地理位置、环境条件、道路设施等差异都会对腐蚀试验结果产生影响,因此,快速确认在国内外不同的试验场进行试验的腐蚀强度的一致性是关键的一步^[2-5]。

文中参考不同品牌对于试验场的基本要求,对试验道路、试验设备以及试验车辆结果一致性的考察方法进行了归纳整理。

1 整车腐蚀试验方法介绍

1.1 汽车腐蚀的发生

沿海地区的空气中含有一些盐分,这些含有盐分的潮湿空气会附着在车身金属表面。寒冷地区由于受降雪天气使用融雪剂的影响,车辆在使用过程中,底盘零部件会附着含有融雪剂的泥水。这些附着在车身或底盘的盐分中富含氯离子,氯离子半径较小、活性高,可吸附在金属表面上进行运动,并难以抑制。具有络合性的氯离子与铁或钝化膜发生反应,使铁或钝化膜出现缺口,缺口处的基层金属就会裸露出来,再加上水的介入,此时该金属部位就形成原电池,产生电化学腐蚀。金属表面由于点腐蚀的加深出现坑洞,坑洞内的水及金属离子如铁离子难以扩散到坑洞外,金属离子与水发生水解,产生氢离子,点腐蚀坑洞内的水及氢离子无法扩散到坑外,使得坑内的pH值降低,进一步加速腐蚀,同理缝隙腐蚀与点腐蚀类似^[6-10]。

由此可见,破坏金属表面的保护层,增加氯离子及水的介入,提高温度加速离子活动可加快金属的腐蚀。

1.2 整车强化腐蚀试验的方法

整车强化腐蚀试验主要用于观察车辆在试验过程中各零部件外观及功能变化的趋势,从而发现车辆在防腐设计、材料选择、安装工艺方面存在的不足。一般而言,整车强化腐蚀试验后的车辆外观及功能应与目标市场中使用环境最恶劣地区用户的车辆外观及功能相仿。

试验过程中,需通过破坏金属表面涂层,增加车辆表面的盐分及水分,并增加车辆表面温度的同时,施加动态载荷,以加速车辆的腐蚀。因此在制定整车腐蚀的试验方法时,也将以这几点为核心,并通过调整细节以达到试验目标。将上述条件转化为试验场内的试验工况可以分为以下四类。

1) 碎石路行驶,主要模拟车辆非铺装道路或有颗粒物遗留的铺装道路上的行驶状态。车辆行驶过程中,轮胎凹槽会将路面颗粒物随机甩出,击打车辆底盘部件,破坏底部的涂装及对线束、管路、悬架等零部件进行击打,尤其是直径在1cm左右,质地坚硬且棱角分明的花岗岩或玄武岩效果最为明显。由于车辆金属表面均有涂层,在涂层不被破坏的情况下,金属很难发生腐蚀。因此试验过程中,因多次以高速状态通过碎石路,试验车辆产生的自身损伤绝大部分是由这条道路造成,从而起到强化模拟的效果,以检测车辆底盘的防石击性能。

2) 氯盐介质输入。强化腐蚀试验中,试验车辆盐分的输入分为动态盐水输入和静态盐水输入。动态盐水输入主要由盐水喷射路和盐水池完成。盐水喷射路由盐水喷射装置及搓板路面组成,试验过程中车辆以高速通过该路段,两侧喷射的盐水将进入发动机舱、车身及车辆缝隙内。同时由于搓板内存有盐水,车辆在高速通过时由于悬架的运动,轮胎会将凹槽内的盐水击打至车辆底部,通过速度越快,悬架运动行程越长,输入到悬架内的盐分也就越多。同时两侧喷射的盐水进入车辆缝隙的几率也就越大。试验过程中应多次通过该路段,以使车辆表面及缝隙渗入盐分,加速车辆腐蚀。静态盐水由盐雾试验仓完成,均匀的雾状盐水在车辆表面形成稳定的盐水薄膜,使车身金属充分接触盐水介质,加速车辆腐蚀。

3) 可靠性道路行驶。强化腐蚀试验是一种特殊的整车可靠性试验,可靠性道路的行驶主要包括鹅卵石道路、扭曲路、共振路、坡道等工况。车辆通过在这些道路的行驶将积累对车辆的动态负载,结合腐蚀环境,考核车身及底盘部件的可靠性。一般根据车型的不同,需采集试验车辆在不同道路行驶的载荷谱后,编制整车可靠性试验规程。强化腐蚀试验的可靠性道路动态负载一般选取为整车可靠性试验动态负载的25%为宜。

4) 高温高湿环境停放,主要加速模拟沿海地区海洋性气候对汽车腐蚀的影响。该气候特点主要是温度相对稳定,相对湿度较高。环境仓主要用于模拟温度、湿度,严格的试验要求采用50℃恒温,50%~95%变湿度的试验方法进行,以增加除铁部件外的车辆橡胶件、铝合金及其他合金件的考核。同时由于强化腐蚀试验主要是模拟车辆外部环境,因此为保证试验的一致性,试验中绝大多数时间(每天20h)应停放在环境仓内。

2 道路条件一致性

2.1 对碎石路的判定

由于碎石路行驶是车辆造成自身损伤的主要工况,碎石击打也是部分底盘件发生腐蚀的前提,同时

跟随前车行驶以对车辆前部进行碎石击打也均在该路段进行。碎石路段应路面平整，长度至少为 200 m，颗粒直径约 1 cm。

2.2 对盐水喷射路的判定

由于对车辆表面施加盐分的主要工况是盐水喷射路行驶，试验中将多次通过该路段，因此该路段是决定车辆腐蚀状态的关键核心。试验前需确认盐水浓度、喷射状态及搓板内盐水储存状态。一般盐水浓度至少为 0.5% (NaCl 质量分数)，喷射长度至少为 60 m，搓板长度至少 30 m。

2.3 对温湿度环境仓的判定

由于车辆在进行强化腐蚀试验过程中，有绝大多数时间是处于温湿度环境仓中的，同时这也是腐蚀发生的主要阶段，因此仓内温度及湿度的精度是影响试验结果的重要因素。尤其是变湿度的试验方法中，湿度升高及下降的速率将直接影响车辆湿润或干燥的效果，因此在环境仓标定时，需注意环境仓的温湿度控制传感器距离出风口的位置，距离的远近会影响温度及湿度的输出功率，这决定了湿度升高及下降的速率。需对环境仓的温湿度性能进行标定，标定时需在车辆顶部、车门、底部三个位置放置温度及湿度传感器，经过至少三个循环后得出湿度升高及下降的速率。如果升降速率不满足试验需求，应调整环境仓温湿度控制传感器到出风口的距离，直至满足要求为止。一般温度偏差需小于 0.5 °C，湿度偏差需小于 3%。

2.4 对灰尘路的判定

通过观察用户实际使用后的车辆可发现，车辆底盘及车身下部的缝隙腐蚀比较严重。究其原因是因为在日常使用中轮胎的滚动会扬起地面灰尘，使灰尘聚集在这些缝隙当中，同时由于日常洗车无法洗到这些区域，所以这些区域的腐蚀往往比较严重。因此在强化腐蚀试验中，需重点考虑这部分的问题，往这些缝隙输入较多的灰尘。因此灰尘道路长度至少 200 m，灰尘最好为粉末状的沙土。

综上所述，在进行试验前，需对上述道路及设施的状态进行确认。只有当状态满足上述最低要求时，才可保证试验的一致性及准确性，因此上述道路及设施的要求是试验的前提。

3 试验车辆结果一致性

整车强化腐蚀试验受环境、设备、试验人员等多方面因素综合影响，因此，不能仅针对道路设施进行考量，更应着重考量试验车辆的各项指标在不同试验场的一致性。在目前的强化腐蚀试验体系中，试验车辆产生的主要数据包括车辆底盘的标准钢板腐蚀深度、车身各典型部位的划线扩蚀量以及针对车辆各零

件腐蚀等级的主观评分。针对于不同数据的重要程度及先后次序，制定了判断流程，如图 1 所示。

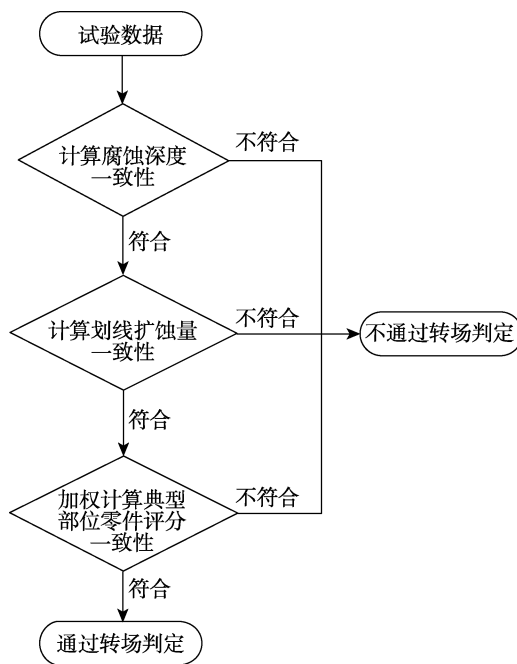


图 1 试验车辆结果一致性的判定流程

3.1 对标准钢板腐蚀深度的判定

目前大多数的强化腐蚀试验，都选取 B/QB 302—2009 中的 SPHC 热轧酸洗低碳钢为原材料进行制作标准钢板^[2]。由于该材料具有短期内能快速腐蚀的特性，因此将钢板加工成 50.8 mm×25.4 mm×3.18 mm (长×宽×厚) 大小的样件，在正中央钻一个直径 6.5 mm 的孔，去除四周及孔周围的毛刺，使用尼龙螺栓安装钢板，并固定在需确定强度的区域，如图 2 所示。在经过固定周期的循环试验后，需将这些区域的监控钢板取下，并作喷砂处理，以对这些区域的腐蚀强度进行对比。选取某款车将试验从 H 试验场转移至 Y 试验场的试验过程中，10 个循环后的 B 柱上方车顶、B 柱下方车底、发动机舱内 3 个区域腐蚀深度进行对比，结果见表 1。

表 1 选取的 3 个区域 10 个循环的腐蚀强度对比

位置	场地	腐蚀深度/ μm
车顶	H 试验场	53.7
	Y 试验场	57.3
车底	H 试验场	102.7
	Y 试验场	107.5
发动机舱	H 试验场	14.4
	Y 试验场	16.0

在初步判断数据误差不大的前提下，计算腐蚀深度计算值的 Pearson 相关系数。Pearson 相关系数是用



图2 车顶、车底、发动机舱内标准钢板安装

来反映两个变量之间线性相关程度的统计量，一般用 r 表示。 r 的绝对值越大，表明相关性越强，其计算公式为：

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (1)$$

式中： n 为样本总个数。

以文中的数据为例，计算结果见表 2

表 2 腐蚀强度的 Pearson 相关性计算结果

	H	Y
H	Pearson 相关性	1.000**
	显著性 (单侧)	.002
	N	3
Y	Pearson 相关性	1.000**
	显著性 (单侧)	.002
	N	3

注：**表示在 0.01 水平 (单侧) 上显著相关

由表 2 可知， $r=1$ ，且显著性 <0.01 ，证明两组数据有极高的一致性，从而判定两试验场的腐蚀深度是满足一致性要求的，可以进行下一步的判定。需要说明的是，上述案例中的两个试验是在两试验场气候环境相近的情况下进行的。由于不同试验场的地理位置差异，使得不同的试验场气候条件存在差异，同一试验场由于季节变化也会对车辆状态产生一定的影响。因此，选取了同一试验场在不同季节进行的整车强化腐蚀试验钢板的腐蚀深度进行一致性分析，结果见表 3。

表 3 Y 试验场夏季、冬季试验钢板腐蚀深度

	夏季	冬季
第二周	128.7	123.3
第四周	109.2	102.5
第六周	123.5	110.7
第八周	115.6	108.5
第十周	118.3	116.9
第十二周	127.9	124.4

计算 Pearson 相关系数， $r=0.894$ ，仍具有较高的一致性。由以上的数据可以总结出，相同气候条件下，不同试验场的试验结果一致性极好；在不同的气候条件下，同一试验场的试验结果一致性也良好。可以推断出，在不同试验场，不同季节的试验结果一致性也应存在较好的一致性。在试验能力允许的情况下，也可以再单独进行对比试验验证。

另外，在有条件的情况下，可制作对标板粘贴在试验车辆的固定位置。对标版按照材料种类可分为铝板、镀锌板、冷轧板，根据需求制作相应的对标板可在试验后得出不同材料的缝隙腐蚀、暴露区域腐蚀的深度。以某款车将试验从 H 试验场转移至 Y 试验场过程中，粘贴于驾驶室车门处的对标板为例，模拟了镀锌板缝隙腐蚀、冷轧板缝隙腐蚀、镀锌板暴露区域腐蚀、冷轧板暴露区域腐蚀的状态，如图 3 所示。试验后需分析对标板的腐蚀深度，如图 4 所示。同理可求得，Pearson 相关系数仍是 $r=1$ ，可见相关性高度一致。

3.2 对零件划线处的腐蚀扩蚀量的判定

在进行转场试验时，为对比在不同场地模拟的环境对金属腐蚀程度的影响，需在车身表面不同区域进行划线处理，划线长 50 mm，宽 0.5 mm，划线深度要穿过油漆表面及防腐保护层至金属基体。选取某款车，将试验从 H 试验场转移至 Y 试验场的试验过程中，固定试验周期后，发动机舱盖、左前车门、车顶 3 个部件划线处腐蚀宽度对比、划线处腐蚀状态如图 4 所示，腐蚀的宽度数据见表 4。

在初步判断数据误差不大的前提下，计算各部分划线扩蚀量的 Spearman 秩相关系数。当不服从正态分布的资料、原始等级资料、一侧开口资料、总体分布类型未知的资料不符合使用积距相关系数来描述关联性时，可用此相关系数来描述两个变量之间的关联程度和方向。在实际试验中，由于受到测量器具精度的影响，扩蚀量的测量值一般精确到 0.5 mm，因此测量值是满足 Spearman 计算的基本要求，其计算公式为^[13]：

$$r_s = 1 - \frac{6}{n(n^2 - 1)} \sum_{i=1}^n (R_i - Q_i)^2 \quad (2)$$

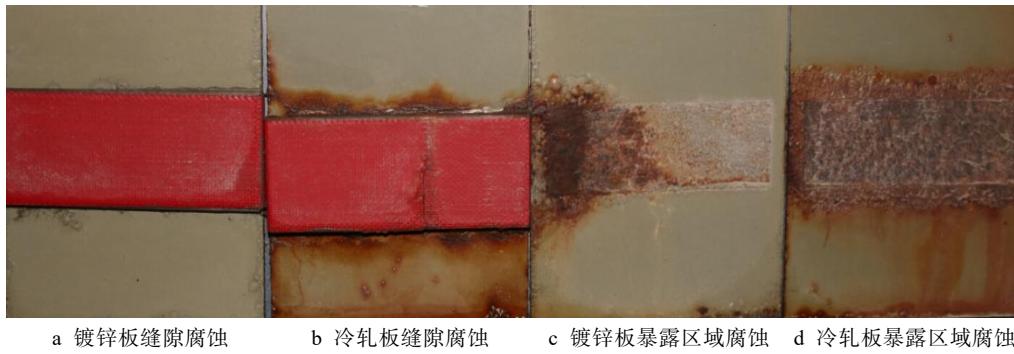


图 3 对标板腐蚀状态

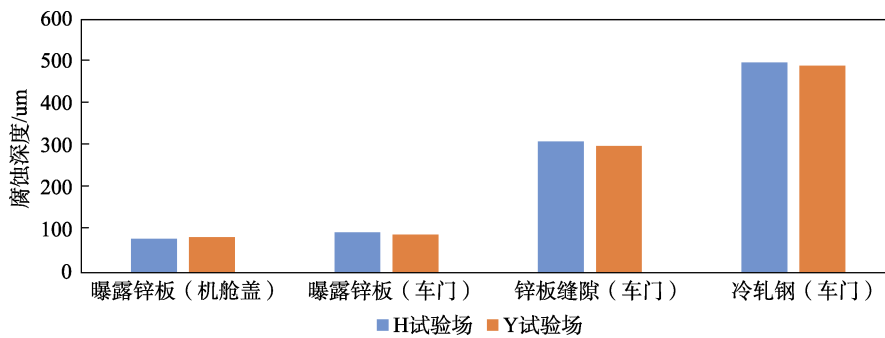


图 4 H 试验场与 Y 试验场腐蚀深度对比



图 4 发动机舱盖、车门、车顶划线及腐蚀状态

表 4 选取的 3 个部件固定循环后划线处腐蚀宽度

mm

位置	场地	0 循环	15 循环	30 循环	45 循环	60 循环
发动机舱盖	H 试验场	0	1.0	1.5	2.0	2.0
	Y 试验场	0	1.0	1.5	2.0	4.0
车门	H 试验场	0	0.5	2.0	2.0	3.0
	Y 试验场	0	0	1.0	2.0	3.0
车顶	H 试验场	0	5.0	8.0	11.0	12.0
	Y 试验场	0	6.0	8.5	11.5	12.0

式中： R_i 为 H_i 在 (H_1, H_2, \dots, H_n) 中的秩； Q_i 为 Y_i 在 (Y_1, Y_2, \dots, Y_n) 中的秩； n 为样本总个数。

以文中的数据为例，计算结果见表 5。由表 5 可知， $r=0.963$ ，且显著性 <0.01 ，证明两组数据有极高的一致性，从而判定两试验场的划线扩散值是满足一致性要求的，可以进行下一步的判定。

3.3 典型零件的腐蚀状态结果的判定

以消费者查看车辆腐蚀状态的难易程度为维度，对车辆区域进行划分，区域及典型零部件见表 6。

表 5 划线扩散值的 Spearman 相关系数计算结果

		H	Y
H	相关系数	1.000	.963**
	Sig. (双侧)	.	.000
	N	15	15
Y	相关系数	.963**	1.000
	Sig. (双侧)	.000	.
	N	15	15

注：**表示在置信度 (双侧) 为 0.01 时，相关性是显著的

表6 车辆区域划分及典型零部件

维度定义	注释	区域	典型零部件
高可见度	使用过程中,无遮挡直接暴露为用户视线内的区域	外车身、四门两盖、外饰件、内饰件、车轮	车门、车窗装饰条
中可见度	使用过程中,需用户通过简单操作才可暴露在用户视线内的区域	发动机舱内、轮罩内	发动机、发电机
低可见度	仅当车辆处于举升状态下才可暴露在用户视线内的区域	底盘	副车架、摆臂

在试验过程中。应定期检查这些区域特别是高可见度区域零部件的腐蚀形貌变化状态,以确认转场试验中的腐蚀强度是否一致。选取某款车将试验从 H 试验场转移至 Y 试验场的试验过程中相同试验周期

后的各区域典型零部件腐蚀状态作对比,见表7。

目前,根据 QC/T 732—2005^[11]的评分方法,在不同检查节点会对所有零件进行评分,腐蚀等级评分见表8。

表7 典型零部件在 H、Y 试验场腐蚀状态对比







维度	典型零件	腐蚀状态	
		H 试验场	Y 试验场
高可见度	车门铰链 30 循环		
中可见度	减震器安装螺栓 30 循环		
低可见度	后横向稳定杆 30 循环		

表8 整车强化腐蚀试验零部件评分表

区域	零件名	循环数	腐蚀等级	
			H 试验场	Y 试验场
内饰	转向柱	30	4	4
	座椅导轨		2	1
发动机舱	减震器固定螺栓		4	4
	进气管卡箍		2	2
车身	车门铰链		3	3
	车门边缝		4	3
底盘	横向稳定杆		3	3
	前下摆臂		3	3

表8列举部分典型数值。在全部数据的表格中,将所有评分差距大于2分的项目记为偏差项,判断所

有零部件的腐蚀状态一致性见表 9。根据国内 2010—2014 的腐蚀投诉数据^[12]，各个区域的腐蚀等级占比如图 5 所示。

表 9 零部件评分结果一致性计算结果

偏差项	总数	一致率/%
内饰 r_T	2	93.5
发动机舱 r_E	20	78.5
车身 r_B	15	86.3
底盘 r_C	16	89.6

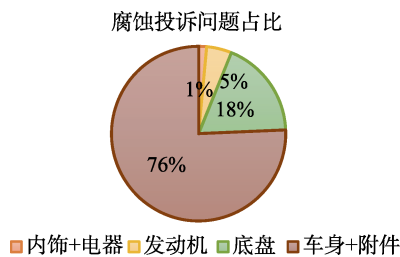


图 5 腐蚀投诉问题占比分布

根据各区域问题占比对上述一致率进行加权：

$$r = 0.01 \times r_T + 0.05 \times r_E + 0.76 \times r_B + 0.18 \times r_C \quad (3)$$

两试验场的车身零件腐蚀程度一致率 $r=86.2\%$ ，具有较高的一致性，从而判定可以在两试验场之间进行转场试验。

除了零件评分判定之外，在试验中时常伴有零部件失效的状态。如果在转场试验中，某几个零部件在固定的循环后会出现失效状态，说明两个不同试验场地所模拟的腐蚀环境相当，也可作为试验结果评价的支撑。以某款车将试验从 H 试验场转移至 Y 试验场的发电机失效为例，在 H 试验场进行试验时，发电机在 20 循环后由于受腐蚀影响而生锈卡死，造成车辆无法启动，而在 Y 试验场进行试验时这一现象则在 18 循环后出现。这一现象说明车辆在 H、Y 两个试验场进行试验时，发电机周边的环境相当。

4 结语

整车强化腐蚀试验的转场标定有利于企业安排

多辆车在不同的试验场同时进行试验，可保证试验进度，节约试验成本。上述方法主要讲述了在不同试验场地进行试验时如何判定试验场的道路及设备等基本条件，通过科学的方法可以判定各项试验结果的一致性，从而确定试验场是否满足转场要求。

参考文献：

- [1] 李彤. 国产汽车防腐现状及对策[J]. 汽车技术, 2002(4):28-31.
- [2] 厉承龙. 乘用车强化腐蚀试验及防腐措施[J]. 汽车工程师, 2015(2): 18-20.
- [3] 宛萍芳. 乘用车强化腐蚀试验中划线腐蚀问题的分析[J]. 汽车工艺与材料, 2010(10): 44-46.
- [4] 周炜. 整车腐蚀试验体系[J]. 汽车与配件, 2016(11): 78-79.
- [5] 李玉龙. 整车道路耐久试验的研究[J]. 机械设计与研究, 2013(3): 14-19.
- [6] 蔡元平, 王永豪. 汽车腐蚀试验常见腐蚀问题分析及防腐优化[C]// 第七届中美材料环境腐蚀与老化试验学术研讨会论文集. 广州: 中国电工技术学会, 2013(2): 14-18.
- [7] 田永. 汽车金属制件腐蚀机理与试验介绍[J]. 电镀与精饰, 2013(9): 39-42.
- [8] 田永. 汽车金属零部件盐雾试验与改进措施[J]. 汽车工程师, 2013(8): 37-40.
- [9] 王海涛. 汽车道路强化腐蚀试验及评价方法[J]. 腐蚀与防护, 2007(6): 300-306.
- [10] 吴志杰. 汽车强化腐蚀试验中典型腐蚀问题分析[J]. 全面腐蚀控制, 2015(7): 43-45.
- [11] QC/T 732—2005, 乘用车强化腐蚀试验方法[S].
- [12] 黄平, 范梅梅, 官璟. 汽车腐蚀与防护工程[M].北京: 科学出版社, 2017:66-68.
- [13] 孙强. 基于人工神经网络的汽车声品质评价与应用研究[D]. 长春: 吉林大学, 2010.