



# 乘用车制动 NVH 整车道路试验方法研究

张淑芬 王万梁

(长城汽车股份有限公司, 河北省汽车技术创新中心 河北 保定 071000)

**摘要:** 汽车制动 NVH 难题既是汽车企业非常重视的影响驾乘体验感的问题, 又是制动系统研发过程中的重点难点之一。该文在阐述汽车制动噪声和振动的整车路面试验方式及点评标准的基础上, 对道路试验路线选择、试验方式、主观客观评估方法及标准进行说明, 并以此为前提, 规范制动道路试验的技术要求。该试车方式及点评标准对汽车制动系统零部件的开发具有一定的参考意义。

**关键词:** 制动 NVH; 制动噪声; 乘用车; 试验方式

伴随汽车产业的兴起和经济水平的提高, 顾客在要求车辆的功能、配置可靠性的条件下, 对整车 NVH 性能造成的驾乘体验感的期望也越来越高。车辆制动的 NVH 性能反映的是车辆制动时的噪声、振动及声振粗糙度 3 方面的问题, 因对驾乘体验有极大影响, 成为汽车行业广泛关注的车辆性能。同时, 该问题也增加了制动系统研发的难度<sup>[1]</sup>。

因为汽车行驶时的制动工作会受到多项因素的干扰, 包括实时工况、自然环境、车辆自身条件、驾乘习惯等, 所以在运行过程中难以避免出现猛烈的振动和较大的噪声。这不仅会影响到车内人员的舒适度, 而且也会加剧对制动盘、摩擦片的磨损, 进而降低制动系统的使用寿命, 提升车辆的运行成本, 具有一定的行车安全隐患。应对制动系统 NVH 难题, 需要开展较为客观实际、全面具体的分析, 同时还要具有可实际操作的测试与评价, 这是从业者面临的重要课题<sup>[2]</sup>。

现阶段, 在世界范围内有较高认可度的车辆制动 NVH 性能试验方法有美国洛杉矶市 LACT、西班牙 Mojacar 等的制动系统性能试验方法。它们能够在点评汽车的制动噪声、振动和磨损等性能主要表现上提供较大帮助<sup>[3]</sup>。而在我国, 由于发展时间较短、基础和经验都存在一定的不足, 以往大多是依据内部实践经验、试验人员的主观意愿进行评价, 缺乏足够的数据进行支撑<sup>[4]</sup>。尽管近年来我国汽车制造业发展迅速, 一些国产汽车企业及制动系统开发厂家具备一定的整车制动噪声试验和评估水平, 但大多数还处在摸索、学习的初始阶段, 缺乏统一性, 各自为营。为促进我国汽车行业的规范化发展, 有必要制定一套相对统一的制动 NVH 整车道路试验方

法标准, 规范试验的评价参数与方式方法。这对于车辆制动系统及其零部件的设计、优化、产品检验等都将大有裨益<sup>[5]</sup>。这样不仅能使行业内的交流与沟通更加便利, 而且有利于整个行业研发水平的提升。因此, 为了能够在产品开发环节就及时发现制动系统 NVH 性能问题, 经过长期实践, 融合多个项目车型具体开发工作经验, 逐步完善试车标准及试验步骤, 开发了一套符合主流标准的试验方案。该方案满足标准论述的耐久度试验方式与评价步骤要求, 并配备了多种测试设备等, 对制动 NVH 整车路面试验进行了完善, 能够在新车型的研究开发环节, 帮助相关人员高效评定整车的制动噪声、振动及磨损等表现, 以为其发展提供理论支持。

## 1 制动 NVH 整车路面试验方式

### 1.1 试验路线选择

实时路况包含山区道路、乡村道路、市政道路及高速公路等, 各种路面交叉开展试验, 同时对于温度、湿度的范畴也覆盖得较为全面。围绕选择的地带所选择的试验路线既符合我国地方特色, 也符合国家汽车运行的绝大多数使用场景<sup>[6]</sup>。特别是其中的远距离上下山拐弯路况, 尤其适合检测制动系统的融合性能, 是开展制动噪声试验的绝佳路况。该路况还十分合适对制动盘、摩擦片等零部件的磨损情况和使用期限等进行试验。全部检测涉及的里程数总长为 20 000 km 左右。单独试车循环系统约 230 km, 其中, 山区地带约 80 km, 乡村公路约 80 km, 市政道路约 50 km, 高速公路约 20 km。单班用时约 4.5 h, 每日上下午各两个车次。根据前期规划, 所有测试项目归纳如表 1 所示。具体评估方法可参考《乘用

**作者简介:** 张淑芬, 长城汽车股份有限公司、河北省汽车技术创新中心工程师, 研究方向为汽车 NVH; 王万梁, 长城汽车股份有限公司、河北省汽车技术创新中心高级工程师, 研究方向为汽车 NVH。

表 1 选取路段道路试验评价点确认内容

| 序号 | 评价内容                                    | 主要噪声  |        |        | 技术要求                                                                                             |
|----|-----------------------------------------|-------|--------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 晨起冷态 Groan 及 Squeal 噪声评价                | Groan | Squeal | Judder | 晨起冷态 Groan 噪声：制动踏板应能正常松动，平地噪声 ≤ 60 dB，坡道噪声 ≤ 65 dB；冷态 Squeal 噪声：进行 6 个方向低速不同油压制动工况的噪声搜索，记录噪声表现   |
| 2  | 常温 Squeal 噪声评价                          | √     | √      | —      | 道路路况为城乡公路。到达评价点时的前片温度为 50 ~ 90 ℃，后片温度为 40 ~ 60 ℃，进行 6 个方向低速不同油压制动工况的噪声搜索，记录 Squeal 噪声表现          |
| 3  | 常温 Squeal 噪声评价                          | —     | √      | —      | 途经乡村公路、山路，上山到达评价点时的前片温度为 50 ~ 90 ℃，后片温度为 40 ~ 60 ℃，进行 6 个方向低速不同油压制动工况的噪声搜索，记录 Squeal 噪声表现        |
| 4  | 升温后 Squeal 噪声评价                         | —     | √      | —      | 经过山路升温后，到达评价点时前片温度为 150 ~ 180 ℃，后片温度为 120 ~ 150 ℃，进行 6 个方向低速不同油压制动工况的噪声搜索，记录 Squeal 噪声表现         |
| 5  | 降温后 Squeal 噪声评价                         | √     | √      | —      | 经过山路、乡村道路到达选取路段区，前片温度为 80 ~ 110 ℃，后片温度为 60 ~ 90 ℃，进行 6 个方向低速不同油压制动工况的噪声搜索，记录 Groan 及 Squeal 噪声表现 |
| 6  | 常温 Squeal 及噪声、冷却后的 Groan 噪声、Squeal 噪声评价 | √     | √      | —      | 经过乡村道路到达评价点后，记录 Squeal 噪声表现。随后停车放置 15 min，待车辆前轴温度冷却至 50 ℃ 左右，实施冷态 Groan 及 Squeal 评价，对比热衰退后的噪声表现  |
| 7  | 制动 Judder 评价                            | —     | √      | √      | 高速里程约 20 km，评价盘温 < 250 ℃ 时的制动振动表现                                                                |
| 8  | 升温后的 Squeal 噪声评价                        | —     | √      | —      | 下高速后，经过乡村道路、山路到达汤口镇，进行 6 个方向低速不同油压制动 Squeal 噪声表现                                                 |
| 9  | 常温 Groan 及 Squeal 噪声评价                  | √     | √      | —      | 经过乡村道路、城郊道路到达县城，到达评价点时的前片温度为 40 ~ 60 ℃，后片温度为 30 ~ 50 ℃，进行 6 个方向低速不同油压制动工况的噪声搜索，记录 Squeal 噪声表现    |

车制动噪声及抖动整车道路试验方法及评价》标准。

1.2 路面试验前的车辆准备

正常情况下，每个汽车制动系统试验配备的试验整车总数不得少于两辆。依照全车技术标准完成对试验汽车的制动系统、传动系统、转向系统、悬挂系统、车胎、灯光及音箱等的调节，而且悬挂系统、转向拉杆、滚动轴承及车胎等关键部件已经确定。在试验前，车体伪装与其他车身附件都要检测达标，从而避免对试验评价产生影响。在试验开始前，对车身的振动状况进行核对，对于非制动系统条件的限制开展排除。路试环节，80% 里程空载，20% 里程满负荷。试验里程为 20 000 km。参加本次路试的驾驶人员要求均能够辨别与评价噪声的不同种类、制动振动与非制动振动。在实际试验过程中，由不得少于两个的驾驶人员交替驾驶，并且要经常交替车辆位置，减少人为因素对驾驶状态的影响。在路试过程时，驾驶人员在开车习惯上模拟一般用户的驾车方法，记录测试车辆在各种路况上的 NVH 性能表现。

1.3 路面试验设备和安装状况

在事实数据信息层面，为了方便收集车辆制动工作状况、噪声数据信号等，在进行路试之前安装好相关检测仪器，记录包含环境温湿度、时速、制动噪声频率、摩擦片及制动盘温度、声强值、制动管路工作压力等在内的数据信息。

为了能全面了解耐久度试验里的制动振动情况，在选择道路试验环节，根据项目具体情况，每过 3 000 km 的试验里程，精确测量制动盘薄厚变化量、拖滞扭矩、磨损等参数。路试前后，分别检验摩擦片的磨损率。

2 路试评价

2.1 客观评价

数据分析过程中，要以整个里程的客观噪声指数值 ONI 为客观性评价的判断基准点。以某车型为例，在路试前，将配对筛出的最佳摩擦片装车，开展路面试验，然后采集并分析相关数据信息，对该车型的噪声表现进行评价。选择里程在 3 000 km 左



右时的数据统计结论做出说明。

根据该循环测试采集到的相关数据,左前制动器噪声发生的工况为时速 5 ~ 10 km/h,制动系统管道气压为 0.5 ~ 2 MPa,摩擦片环境温度在 100 ~ 150 ℃,制动噪声强度值为 25 ~ 35 dB,工作频率为 12 kHz。右前制动器噪声发生的工况为时速 20 ~ 45 km/h,系统管道气压为 0.2 ~ 2 MPa,摩擦片环境温度在 100 ~ 200 ℃,制动噪声强度值为 30 ~ 40 dB,工作频率为 3.5 ~ 4.2 kHz。此外,试验汽车在路试里程内暂未发生制动振动异常。依据数据收集得到的结果,总计里程超过 3 000 km,总体制动频次近 14 000 次。其中,左前制动装置产生噪声的频次总计 50 次,发生率 0.35%,而右前制动装置产生噪声的频次共计 41 次,发生率 0.30%。通过测算,前轴客观噪声指数值为 0.004,远远小于标准所要求的 0.04。综合相关数据得出根据前轴上下制动器的噪声评价结果,可以看出,其表现非常优秀。

## 2.2 主观评价

参与试验的驾乘人员的主观评价能够反映试验车型给人带来的驾乘体验,并且在试验过程中发挥重要作用。比如,当检测设备出现突发性故障,无法记录相关数据时,驾乘人员的主观评价可作为评价的关键补充。参考美国汽车工程师学会发布的 SAE J1060 中的乘坐舒适特性和噪音评价的主观等级评价,将主观评价的指数值划分成 1 ~ 10 分,共 10 个等级。驾乘人员在针对每个试验路况汽车的制动 NVH 性能进行主观评价时,要注意辨别不同制动模块的主要表现,记录路试循环系统开始和结束时的里程、自然环境温度及湿度等相关信息。在对试验车辆的制动 NVH 性能进行主观评分时,驾乘人员参照的关键评价内容包含可重现水平、噪声频率、可延续时间、噪声分贝数、自然环境温度及湿度、盘体环境温度、发生制动噪声时的压力范畴、行车方向(前行或倒退)、是否为转向制动、其制动噪声发生位置(在平地还是斜坡上)等。若持续一周的主观评分都不超过 6 分,可认为噪声主要表现不过关,要进行方案优化。主观评价时,计算全部里程的主观噪声指数值 SNI,并将其作为主观评价时的量化分析及判断标准。

以某新开发的车型为例,在对其开展汽车制动 NVH 性能主观评价时,记录每一个路试循环系统在多个评价点运用的 Squeal、Groan 噪声的主观得分和里程达 3 000 km 时的主观评价结果,融合 SNI 计算方法,得出现阶段续航里程中的 SNI 指数的计算结

果为 1.23。该结果表明试验的新车型达到了制动系统噪声的设计要求。

汽车制动 NVH 性能主观评价中,还要考虑不同驾乘人员与制动工作状态等的影响,从驾乘人员的角度开展评价。与此同时,结合客观性数据信息,主观评价人员能够亲身感受汽车具体工作情况,更好地评价汽车制动 NVH 性能,有利于比较具体地开展主观评分,与驾乘人员建立密切联系。

## 2.3 盘体磨损检验

完成全部道路试验的过程中,摩擦片与制动盘一定会产生磨损。为了解盘体磨损情况,要依次记录试验开始前、试验中与试验结束后盘体的情况,其中包含制动盘的磨损痕迹、薄厚变化量、制动盘与摩擦片的磨损率等,以此为评定摩擦片和制动盘的使用寿命、耐久度等特性的数据信息。

## 3 结束语

融合实际工作经验,建立一套乘用车制动 NVH 整车道路试验方法。该试验方法以现有标准为参照,可作为日后新开发制动零部件的全车路试验证方式,有利于解决跨车型市场问题。与此同时,针对业内执行制动噪声及振动的试验评价,也具有一定的实用价值。

## 参考文献:

- [1] 宋明,李巍.乘用车制动噪声及抖动整车道路试验方法及评价规范探索[J].汽车实用技术,2019(6):101-103.
- [2] 刘惟信.汽车制动系的结构分析与设计计算[M].北京:清华大学出版社,2004:108-111.
- [3] 韩厚禄.乘用车制动 NVH 整车道路试验方法研究[J].汽车工艺师,2021(9):54-58.
- [4] 陈馨蕊,蔡忠清,邢玉涛,等.乘用车制动真空泵的整车噪声优化[J].现代制造工程,2021(1):64-68.
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.乘用车制动系统技术要求及试验方法:GB 21670—2008[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [6] 杨畅,逯艳博.乘用车制动踏板灵敏度评价方法[J].中国汽车,2019(6):40-43.