

# 基于CVT车型的车内噪声优化改进

李敏, 张贤栋, 祖冉, 郭顺

(安徽机电职业技术学院 汽车与轨道学院, 安徽 芜湖 241000)

**摘要:**以某搭载无级变速器(continuously variable transmission, CVT)乘用车全油门百公里加速工况下的车内噪声为研究对象,采用等级评分法进行主观评价试验。针对车辆在2000~3000 r/min加速行驶过程中,驾驶员耳旁噪声高、声品质主观评价较差、人车一体感觉较差的问题,通过调整换挡策略进行优化,驾驶员耳旁峰值噪声由89.7 dB(A)降低至67.0 dB(A),车内噪声主观评价由6分提升至8分,有效提升了人车一体的驾驶感觉。

**关键词:**无级变速器;NVH;噪声

**中图分类号:**U461.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-0143(2025)01-0092-05

**DOI:**10.16389/j.cnki.cn42-1737/n.2025.01.011

## Optimization and Improvement of Interior Noise Based on CVT Car

LI Min, ZHANG Xiandong, ZU Ran, GUO Shun

(College of Automobile and Rail, Anhui Technical College of Mechanical and Electrical Engineering,  
Wuhu 241000, Anhui, China)

**Abstract:** The interior noise of a CVT passenger car under full throttle acceleration of 100 km was taken as the research object, and a subjective evaluation test was conducted using the level scoring method. During the acceleration process of the vehicle from 2 000 to 3 000 r/min, there was high noise near the driver's ears, poor subjective perception of sound quality, and a poor sense of integration between the driver and the vehicle. Adjusting the gear-shifting strategy for optimization reduced the peak noise near the driver's ear from 89.7 dB(A) to 67.0 dB(A) and the subjective evaluation of the interior noise was increased from 6 points to 8 points, effectively improving the sense of integration between the driver and the vehicle.

**Key words:** continuously variable transmission (CVT); NVH; noise

随着生活水平的提高,消费者对代步工具汽车的驾驶品质要求越来越苛刻。近年来,国内用户越来越关注整车噪声、振动与声振粗糙度(noise, vibration and harshness, NVH)性能表现。根据J. D. Power、APEAL、IQS等的数据统计结果显示,消费者除了关注汽车动力性、经济性、操纵

**收稿日期:**2024-03-28

**基金项目:**安徽省教育厅科学研究项目(2023AH052696, 2023AH052700, 2024AH050206);芜湖市汽车部件CAE分析与实验工程技术研究中心项目(KJ CXPT202207)

**作者简介:**李敏(1982—),女,高级工程师,硕士,研究方向:整车动力经济性和能量管理。

稳定性之外,对汽车的振动噪声问题越来越关注,对声音的品质要求也越来越高<sup>[1-2]</sup>。汽车在急加速工况下的车内噪声表现,也日益受到汽车主机厂研发工作者的重视<sup>[3-4]</sup>。

改善车辆噪声问题可从多个方面考虑,如改进车辆设计、使用降噪材料、采用新技术、改变使用条件等<sup>[5-6]</sup>。本文针对搭载CVT变速器的中小型SUV在进行全油门百公里加速工况下,发动机转速为2 000~3 000 r/min时车内噪声表现较差的问题,通过调整换挡策略进行优化,并进行验证对比,使整车噪声问题明显得到改善。

## 1 试验评价方法

### 1.1 试验方法

选取车辆状态完好,开始量产的车辆作为整车NVH性能评价车辆。试验前,对车辆发动机进行预热,以确保发动机冷却液温度达到正常运行温度 $((85 \pm 5)^\circ\text{C})$ <sup>[7]</sup>。试验过程中,发动机应首先以所选档位的最低稳定转速运行,然后在节气门全开状态下加速至最高转速,在此过程中依据标准文献GB/T 18697—2002《声学 汽车车内噪声测试方法》<sup>[8]</sup>采集车内的噪声信号,并在相同的工况下重复试验至少3次。

由于整车NVH性能测试对道路要求较高,试验场地应选择长度不小于2 km、跨度不小于8 m、坡度小于1%的平直沥青路面,尽量避免转向对测试结果的影响。同时要求道路表面干燥,不得有积雪、污物、石块、树叶等杂物,从而保证试验的严谨性。

本次试验主要使用了西门子公司的LMS.test.lab数采前端测试系统,测试全油门百公里加速工况下的车内振动噪声。因LMS声学测试设备具有高度的集成性,在同一个平台中集成了振动控制与信号的采集、分析和后处理等功能,并且具有多通道、速度快、稳定性好等优点,近些年在汽车领域得到广泛应用。

试验所用的LMS.test.lab数采前端测试系统,采用麦克风作为主要的数据及信号采集设备<sup>[9]</sup>。麦克风固定在人耳附近,以模拟乘客耳边听到的噪声。驾驶员位置通常采用头戴式麦克风,车内噪声测量点位置为驾驶员外耳位置(FLO),如图1所示。

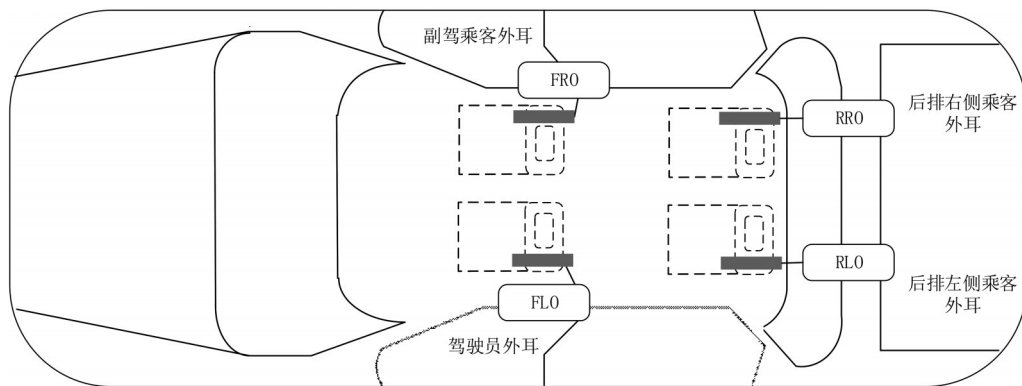


图1 车内噪声测量位置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the noise measurement position inside the vehicle

### 1.2 试验评价方法

车辆的噪声评价方法有主观评价和客观测量两种方式。车辆NVH性能好坏的重要标准也是最终指标就是驾乘人员的主观反应。但主观反应很难用与设计参数直接相关的工程术语表述,因此需要开发出客观测量方法,将用户的主观反应与车辆的设计参数联系起来。

NVH性能主观评价人员,一般选取有驾驶经验且具备NVH调校经验的人员。本试验评分方案采用10分制评分方法,4分以下分数很少打出<sup>[2]</sup>,如表1所示。

表 1 评分方案  
Tab. 1 Scoring scheme

分数	1~2	3~4	5	6	7	8	9	10
性能评价	无法接受	太差劲	可忍受	能接受	一般	良好	优秀	出众

为了考察测试结果与主观评价感受是否吻合,对噪声进行客观测量。试验中采用 LMS32 通道数采测试系统,麦克风固定在驾驶员外耳位置,采集到的数据经过软件处理后计算所测声压。在安装好麦克风后,需要对麦克风按 1 000 Hz、114 dB(A)进行标定,确保测试数据的准确无误。试验过程中,噪声信号带宽为 25.6 kHz,振动信号带宽为 1 024 Hz,分辨率均为 1 Hz。

## 2 车型表现

某搭载 CVT 变速器的 SUV 车,在全油门百公里加速行驶过程中,当发动机转速达到 2 000 ~ 3 000 r/min 时,车内前排有明显轰鸣声,人车一体的感觉较差,严重影响驾乘舒适性。驾驶员对于噪声的主观评价分数为 6 分,处于能接受的状态。通过对车辆由静止状态全油门加速进行测试<sup>[10]</sup>,发现驾驶员位置的噪声在 2 030 r/min 存在明显峰值,最大值为 89.7 dB(A),如图 2 所示。

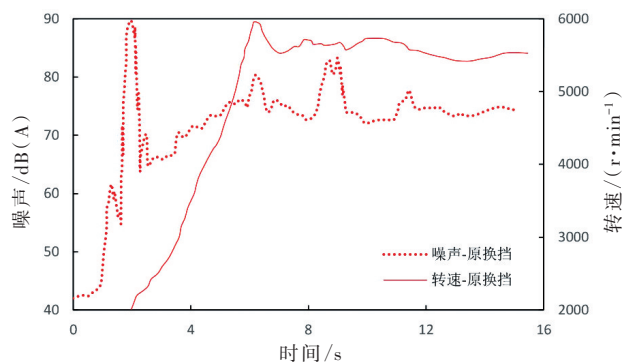


图 2 车辆噪声表现

Fig. 2 Vehicle performance of noise

## 3 优化方案

针对本车型的市场竞品车进行驾驶评价时,在全油门百公里加速工况下,竞品车噪声轰鸣声音小,人车一体感觉良好。在驾驶评价过程中当车速达到 40 km/h 时,试验车转速已达到 5 000 r/min,竞品车转速则仅达到 3 800 r/min。结合理论及项目开发经验,当车辆全油门运转时,转速的迅速提升显著地加剧了低车速状态下的噪音水平。在自动挡车型的开发后期,考虑项目周期及成本因素,对转速进行控制优化是很重要的<sup>[11]</sup>。

自动挡车辆在油门固定时,车速、转速的变化与换挡策略密切关联。参考竞品车的表现,对试验车和竞品车全油门百公里加速工况下采集的数据进行分析,发现在全油门同等车速情况下,换挡策略中试验车对应的目标转速比竞品车高。试验车的全油门换挡策略,如图 3 所示。

为降低低车速时的车辆噪声,以 2 000 ~ 3 000 r/min 时的噪声峰值下降 20 dB(A)为优化目标。同时,为提高人车一体的驾驶感觉,起步阶段的峰值加速度不降低,通过调整试验车变速箱控制单元(transmission control unit, TCU)中变速箱的换挡曲线,以实现优化调整低车速全油门的换挡策略。优化后的全油门换挡策略如图 4 所示。

由图 3 和图 4 可以看出,优化换挡策略后随着车速的增加,试验车转速较原换挡策略的目标

转速缓慢上升。优化后,车速达到60 km/h时,目标转速约达到4 000 r/min。理论上同等车速下,转速降低,可以降低车内噪声。

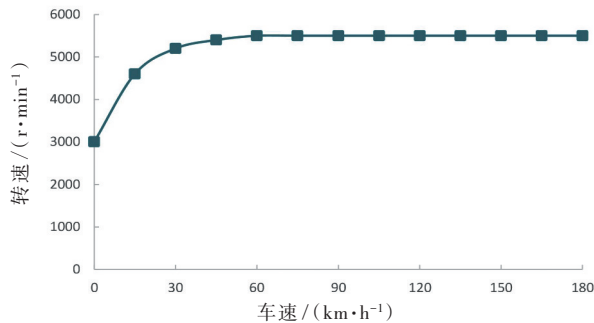


图3 全油门原换挡策略

Fig. 3 The original gear-shifting strategy of WOT

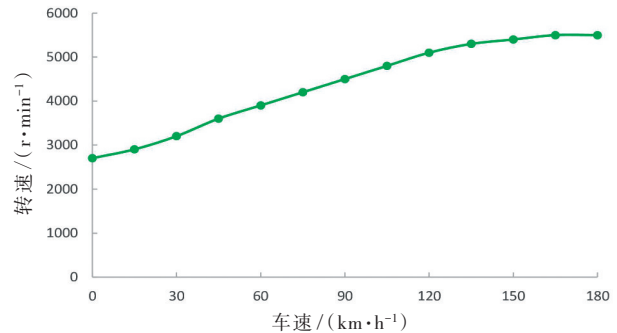


图4 优化后换挡策略

Fig. 4 The gear-shifting strategy of optimization

## 4 验证对比

为了验证优化换挡策略,首先对试验车全油门百公里加速工况下进行噪声主观评价,然后进行客观测试,采集车速、转速、主驾噪声、加速度等数据,与原换挡策略的试验结果进行对比。

驾驶员对车辆噪声进行主观评价,优化换挡后轰鸣声消失,人车一体感觉良好,评分由6分提升至8分。

全油门百公里加速试验过程中优化换挡前后的噪声对比如图5所示;加速度曲线对比如图6所示;对试验结果进行数据统计,对比结果见表2。

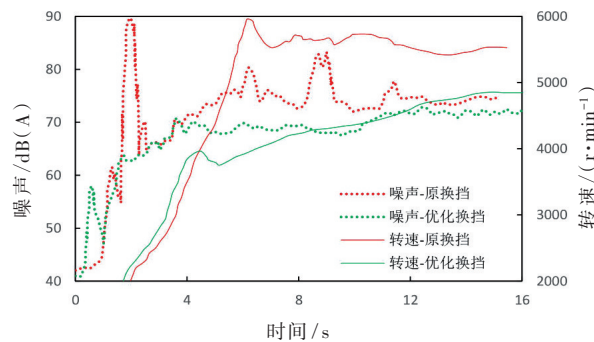


图5 优化方案噪声对比

Fig. 5 Noise comparison of optimization scheme

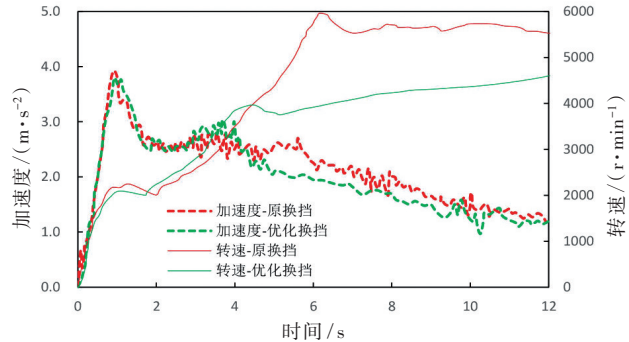


图6 百公里加速过程对比

Fig. 6 Comparison of acceleration process in 100 km

表2 优化方案试验结果对比

Tab. 2 Comparison of optimization scheme test results

加速时间/s	前3 s		2 000 ~ 3 000 r/min	
	平均加速度/(m·s <sup>-2</sup> )	峰值加速度/(m·s <sup>-2</sup> )	峰值噪声/dB(A)	平均噪声/dB(A)
原换挡	13.9	2.5	89.7	64.8
优化换挡	15.6	2.5	67.0	56.1

由表2可以看出,优化换挡后,车辆的全油门百公里加速时间延长了1.7 s,前3 s平均加速度、峰值加速度基本没有发生变化,车辆起步加速感觉基本与原换挡策略一致。同时,车辆转速为2 000 ~ 3 000 r/min时,峰值噪声降低了25.3%,由原来的89.7 dB(A)降低至67.0 dB(A);平均噪声降低了13.4%,由原来的64.8 dB(A)降低至56.1 dB(A)。

## 5 结论

1) 通过优化 CVT 车型的换挡策略,有效降低了车内峰值噪声和平均噪声,提高了 NVH 水平。

2) 针对 CVT 车型全油门工况,提出的优化换挡策略方案,为其他车型的动力性和 NVH 性能的平衡开发提供了调校方案参考。

### 参考文献 (References)

- [1] 井聚,刘涛,秦宾,等.某乘用车加速工况前排车内轰鸣研究[J].农业装备与车辆工程,2022,60(6):83-86.
- [2] 毕金亮,卢炳武,邓建交.中大型SUV急加速工况声品质研究与应用[J].汽车科技,2020(4):105-109.
- [3] 周玲.乘用车噪声问题及其降低方法的研究[D].南昌:南昌大学,2020.
- [4] 陶威,陶少飞,吴丹,等.某车型加速工况车内声品质优化研究[C]//中国汽车工程学会.2022中国汽车工程学会年会论文集(4).北京:机械工业出版社,2022:360-363.
- [5] 段江浩,刘涛,虞祥松.某CVT车型加速啸叫问题分析与优化[C]//中国汽车工程学会.2020中国汽车工程学会年会论文集(4).北京:机械工业出版社,2020:157-160.
- [6] 谭芬,梁宗峰,常健,等.基于NVH源问题分析流程解决某自动挡SUV动力系统啸叫问题[J].汽车科技,2021(2):38-41.
- [7] 田川超,张燕冲,李江曼.基于整车道路试验的汽车噪声评价内容概述[J].汽车工业研究,2021(4):49-52.
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.声学 汽车车内噪声测量方法:GB/T 18697-2002[S].北京:中国标准出版社,2002.
- [9] 郭杨.基于LMS.test.lab某车型车内振动噪声试验分析与调校[J].时代汽车,2017(20):79-80.
- [10] 蒋邹,梁莹,吴文栋,等.某乘用车加速工况车内轰鸣声诊断及控制方法[J].应用声学,2024,43(1):90-94.
- [11] 孙健颖.某款SUV加速工况车内声品质提升[D].长春:吉林大学,2021.

(责任编辑:占怡玉)

### 勘误声明

本刊对2015年第43卷第5期的文章《索赔额服从正态分布的破产概率及渐近估计》和2016年第44卷第5期的文章《索赔额服从韦布尔分布的破产概率及渐近估计》进行勘误。具体内容如下:

2015年第5期第406页第13-14行的原文内容为“假定个体索赔额  $X_i$  的分布函数为  $F(x)$ , 记  $\nu = E[X_i] = \int_0^{\infty} [1 - F(x)] dx$ , 于是得出  $E[S(t)] = E \sum_{k=1}^{N(t)} [X_k] = E[N(t)] E[X_k] = \lambda t \left( \sum_{i=1}^{N_i} \mu_i \right)$ 。”现更正为“假定个体索赔额  $X_i$  符合相同参数的同一分布, 记  $\nu = E[X_i]$ , 于是有  $E[S(t)] = E \left[ \sum_{i=1}^{N_i} X_i \right] = \lambda t E[X_i] = \lambda t \nu$ 。”

2016年第5期第398页第15-17行的原文内容为“记  $F(u) = P(X_i \leq u), \forall u \geq 0, \mu = E[X_i] = \int_0^{\infty} [1 - F(u)] du$ 。由模型的独立性假定知  $E[S(t)] = \sum_{k=1}^{N_i} E[N(t)] E[X_k] = E[N(t)] \sum_{i=1}^{N_i} E[X_k] = \lambda t \sum_{i=1}^{N_i} \eta_i \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) = \lambda t \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \sum_{i=1}^{N_i} \eta_i$ 。现更正为“假定个体索赔额  $X_i$  符合相同参数的韦布尔分布, 记  $\mu = E[X_i]$ , 于是有  $E[S(t)] = E \left[ \sum_{i=1}^{N_i} X_i \right] = \lambda t E[X_i] = \lambda t \mu \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right)$ 。”

感谢热心读者的关注,并对由此给读者带来的困惑深表歉意!