

车辆怠速抖动分析及优化

周伟强,白小婷,胡军峰,张艳,林霄喆

无锡星驱动力科技有限公司,江苏 无锡 214000

摘要:为解决车辆开发过程中怠速抖动问题,排查怠速抖动成因,采用怠速转速振动测试试验及旋转件动平衡测试,分析旋转件动平衡、怠速转速设置对振动速度的影响,并采用调整动平衡和将怠速转速设置为700 r/min的方法进行优化。结果表明:将双离合器花键与双质量飞轮花键在原状态下旋转180°进行装配,测点振动速度不满足测试要求,不能解决怠速抖动问题;怠速转速增大,车辆抖动程度增大;怠速转速对应的振动频率与整车动力总成的刚体模态频率相近,车辆振动更加明显;怠速转速调整为700 r/min时,对应的振动频率为11.7 Hz,测点振动速度满足测试要求,为最优解决方案。

关键词:自动变速器;怠速转速;怠速抖动;振动测试

中图分类号:U461.4

文献标志码:A

文章编号:1673-6397(2025)06-0092-05

引用格式:周伟强,白小婷,胡军峰,等.车辆怠速抖动分析及优化[J].内燃机与动力装置,2025,42(6):92-96.

ZHOU Weiqiang, BAI Xiaoting, HU Junfeng, et al. Analysis and optimization of vehicle idle speed vibration [J]. Internal Combustion Engine & Powerplant, 2025, 42(6): 92-96.

0 引言

车辆怠速抖动主要由发动机积碳、点火系统故障、油压不稳、发动机橡胶悬置老化、真空系统泄漏、动力总成与整车系统共振等因素引起。若火花塞老化或损坏导致燃烧不稳定,喷油嘴堵塞或燃油泵压力不足影响燃油供给,进气管道或节气门密封不良导致空气进入量异常,发动机支架老化或损坏导致振动传递到车身,以上因素都可能引发车辆怠速抖动^[1-4]。目前对车辆怠速抖动的研究大多聚焦于对点火系统、燃油喷射系统、空气进气系统、发动机支架等进行分析,而对动力总成与整车系统共振造成怠速抖动的相关研究仍较匮乏。

新车下线时,若动力总成与整车系统共振,车辆抖动频发,显著降低整车合格率。车辆行驶状态时,若怠速转速设置不合理,影响动力总成在发动机舱的姿态,导致动力总成与整车悬置、车身等产生共振。因此,在整车开发匹配过程中,怠速转速的合理设置至关重要,不仅应保证燃油充分燃烧以满足油耗的要求,还应保证动力总成与汽车相关部件间不能产生共振。

车辆实际使用中经常出现怠速和停车工况,若车辆怠速抖动频发,降低客户舒适度,严重时甚至可能导致发动机熄火。本文中以某车辆怠速共振问题为例,根据旋转件动平衡测试及怠速转速振动测试设计优化方案,并结合怠速转速测试试验进行验证,有效解决了车辆怠速抖动。

1 失效车辆测试

汽车下线检测是评价车辆是否合格出厂的重要检测手段,包含静态功能检查、灯光调整、前束检查、轮毂检测、侧滑试验、跑道试验等一系列检测流程^[5-6]。某搭载双离合变速器的整车下线检测过程中,当

收稿日期:2023-09-19

第一作者简介:周伟强(1992—),男,陕西兴平人,工程师,主要研究方向为变速器整机集成开发,E-mail:Weiqiang.Zhou@infimotion.com。

车辆怠速停车时,驾驶舱座椅及下方可以感知到明显的怠速抖动。

选取两台正常车辆,起动车辆后挂P挡,与怠速抖动车辆进行振动测试对比。测试时,在驾驶员座椅左侧导轨中部布置振动传感器,采集抖动车辆数据,评价人体感知的振动程度,测试传感器参数如表1所示,3台车辆振动测试试验结果对比如图1所示。

表1 测试传感器参数

量程/g	最大冲击过载/g	灵敏度/(mV·g ⁻¹)	谐振频率/kHz	非线性度/%	温度/℃	输出/V	供电/V
±500	±5 000	10	>30	≤1	-55~120	0±5	22~30

注:g为自由落体加速度。

由图1可知:振动频率为12 Hz时,车辆振动速度最大;2台正常车辆最大振动速度分别为0.10、0.15 mm/s;怠速抖动车辆最大振动速度为0.45 mm/s。怠速抖动车辆振动速度偏大,不满足车辆正常振动速度不大于0.4 mm/s的要求。

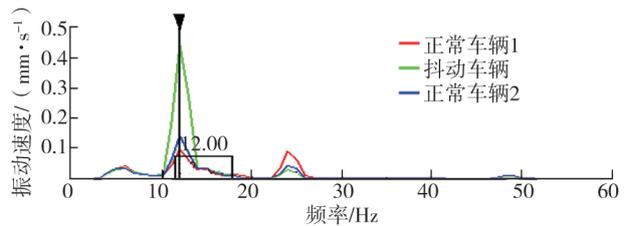


图1 3台车辆振动测试结果

2 测试结果分析

2.1 怠速抖动分析

由于怠速抖动出现在新车下线测试阶段,因此可排除使用过程中的干扰因素。分析车辆抖动原因主要为动力总成与整车共振造成,动力总成与整车共振造成的怠速抖动成因分析鱼骨图如图2所示^[7-10]。

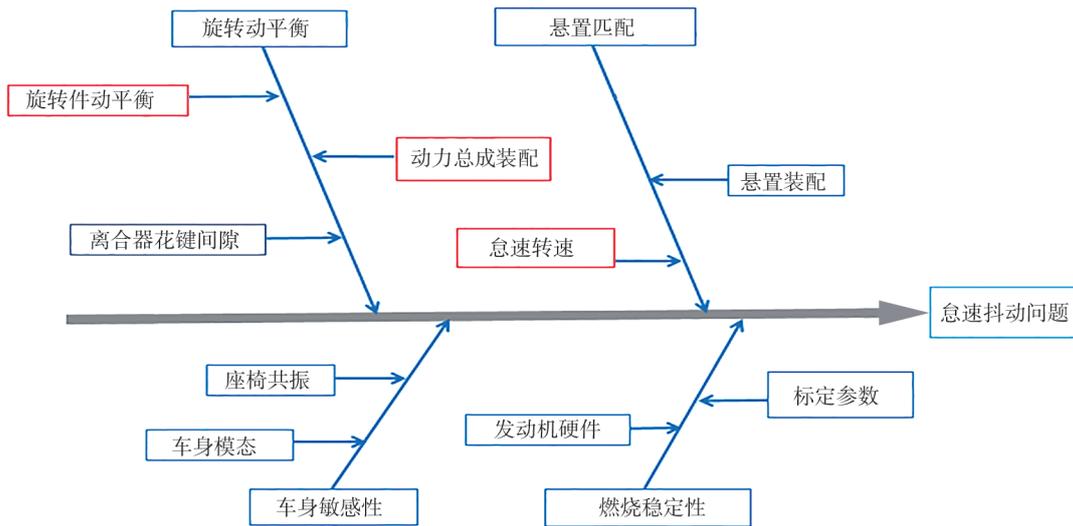


图2 动力总成与整车共振造成的怠速抖动成因分析鱼骨图

由图2可知:动力总成与整车共振导致的车辆怠速抖动主要与悬置配置、旋转动平衡、车身敏感性、发动机燃烧稳定性4部分有关。排查悬置匹配、参数标定、发动机硬件、座椅共振、白车身模态、离合器花键间隙、悬置装配后,发现调整以上因素不能改善怠速抖动,因此可排除其影响,主要分析旋转件动平衡、动力总成装配、怠速转速3个因素。

2.2 旋转件动平衡测试

双离合器(以下简称离合器)安装在发动机与变速器之间,实现不同挡位切换时动力的平稳过渡,无中断现象。若离合器和双质量飞轮的不平衡点在动力总成装配过程中产生耦合,可能导致不平衡点累

积,影响旋转平衡,放大车辆抖动^[11-12]。

为了验证车辆是否出现旋转动不平衡,在驾驶员座椅左侧导轨中部,左悬架主动端、被动端,后悬架主动端、被动端5个位置安装振动传感器,记为测点1~5。

拆下车辆动力总成,为避开最大不平衡点,将离合器花键与双质量飞轮花键在原状态(记为状态A)下旋转180°进行合装(记为状态B),然后再将离合器花键和双质量飞轮花键复原为原状态安装(记为状态C)。起动车辆后挂P挡,测试不同状态下各测点的振动速度,每个测点测量5次,不同状态下各测点的平均最大振动速度如表2所示。

由表2可知:状态A时各测点振动速度过大,尤其是测点2、3,不满足正常振动速度(即振动速度不大于0.4 mm/s)要求;状态B时,测点1的振动速度相比状态A下降约60%,测点2、4的振动速度不满足正常振动速度要求,测点3的振动速度满足临界测试要求;状态C时,各测点的振动速度与原状态A的振动速度偏差较大,说明旋转件动平衡影响振动速度。虽然旋转件动平衡影响振动速度,但对其优化后不能完全解决抖动问题,说明旋转件动平衡不是造成怠速抖动的主要原因。

表2 不同状态下各测点的平均最大振动速度

测点	平均最大振动速度/(mm·s ⁻¹)		
	状态A	状态B	状态C
1	0.66	0.26	0.91
2	4.64	1.91	6.86
3	1.16	0.39	1.56
4	3.53	0.90	4.16
5	1.00	0.37	1.34

2.3 怠速转速振动测试

不同的发动机怠速转速产生的振动频率不同,若该频率恰好与动力总成的固有属性模态频率耦合,激动力总成振动,并通过悬置、车身等部件将该振动放大,导致怠速抖动更明显。车辆怠速转速 n 与振动频率 f 的关系式^[13-15]为:

$$\{f\} = \{n\} / 60, \quad (1)$$

式中: $\{f\}$ 为以Hz为单位的 f 的数值; $\{n\}$ 为以r/min为单位的 n 的数值。

该车发动机怠速转速为730 r/min,根据式(1)计算振动频率为12.17 Hz,动力总成的刚体模态固有频率为12.90 Hz,发动机怠速振动频率与整车动力总成的刚体模态频率接近,两者产生振动耦合,旋转件在怠速停车旋转过程中产生的振动被放大,怠速抖动更加明显,更容易被乘员感知,通常各阶振动频率需避开刚体模态频率2 Hz以上。

起动车辆后挂P挡,设置怠速转速为650~850 r/min,步长为20 r/min,选取驾驶员座椅左侧导轨中部为测点,进行振动测试,不同怠速转速的振动测试结果如图3所示。

由图3可知:不同怠速转速设置对车辆抖动程度的影响较大;怠速转速为760 r/min时,振动速度最大,为0.75 mm/s,不满足设计要求;怠速转速为650~760 r/min,随着怠速转速升高,车辆抖动程度增大,振动速度从0.24 mm/s提高至0.75 mm/s;怠速转速设置不大于700 r/min或不小于800 r/min时,座椅处振动速度小于0.4 mm/s,可有效解决该车怠速抖动。

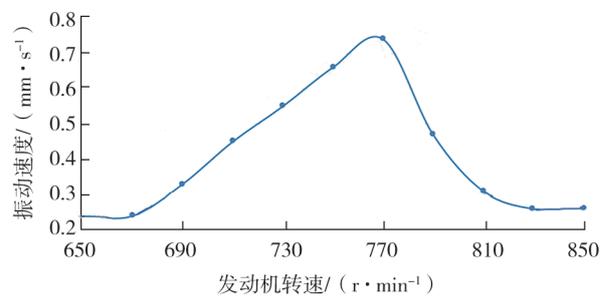


图3 不同怠速转速的振动测试结果

3 优化方案

为解决车辆怠速抖动问题,从调整动平衡(减小旋转件的动不平衡)、动力总成装配(降低动力总成合装过程产生的不平衡耦合)、怠速转速3个方面进行优化分析。

3.1 减小离合器动平衡

检测某批次离合器动平衡,在动平衡符合要求的公差范围内选取最大动平衡($1\ 005\ \text{g}\cdot\text{mm}$)和最小动平衡($438\ \text{g}\cdot\text{mm}$)的离合器极限件,记为离合器 L1、L2,对比原状态离合器(记为离合器 L3),还原原状态离合器(最大动平衡离合器、最小动平衡离合器测量后,再采用原状态离合器,记为离合器 L4),选取座椅导轨中部测点,将4种离合器分别装机进行振动测试验证,不同离合器对应的振动曲线如图4所示。

由图4可知:离合器 L1、L2、L3、L4 对应的最大振动速度分别为 0.55 、 0.47 、 0.12 、 $0.59\ \text{mm/s}$;相比最大动平衡离合器,采用最小动平衡离合器的变速器总成装车后,振动幅度减小,抖动减弱,振动速度为 $0.47\ \text{mm/s}$,但仍不满足振动速度不能超出 $0.4\ \text{mm/s}$ 的要求;采用最小动平衡离合器装配后的振动速度比采用原状态离合器大,但比采用还原原状态离合器小,说明离合器安装角度影响振动速度。

3.2 动力总成装配角度

经调查发现,目前该款动力总成对应的双质量飞轮与离合器的动平衡已经做到行业领先水平,优化空间较小。为减小由于离合器与双质量飞轮装配耦合造成的动不平衡增大的问题,通过变速器与发动机装配,标记离合器与双质量飞轮上最大动平衡点,将两者的最大不平衡点错开 180° 安装,旋转前后标记对比如图5所示。原状态及离合器旋转 180° 后,座椅测点对应的振动速度分别为 0.66 、 $0.56\ \text{mm/s}$,振动虽然减小,但仍不满足振动速度不超过 $0.4\ \text{mm/s}$ 的要求。

为减小动力总成合装过程的动平衡点耦合,需要在对应零部件上标出最大不平衡点,以便在离合器与双质量飞轮装配时进行规避,由于当前动力总成合装采用人工装配,很难控制合装角度,同时不能完全解决车辆怠速抖动问题,因此调整发动机与变速器安装角度减小动平衡的优化措施不作为工程化实施的解决方案。

3.3 调整怠速转速

考虑车辆的量产化,调整怠速转速的优化方案不能影响发动机燃烧效率和整车油耗,以座椅导轨中部为测试点,对发动机进行振动测试,结合图3,当怠速转速不大于 $700\ \text{r/min}$ 或不小于 $800\ \text{r/min}$ 时,座椅处振动速度均小于 $0.4\ \text{mm/s}$,可有效解决该车辆怠速抖动;但怠速转速过低或过高均降低燃油燃烧效率。

考虑振动测试要求及发动机各项性能,怠速转速设置为 $700\ \text{r/min}$,此时振动频率为 $11.6\ \text{Hz}$,虽然没有避开理论刚体模态固有频率 $2\ \text{Hz}$ 的要求,但尽可能加大了怠速频率与理论刚体模态频率之间的差距,且怠速转速对应的振动速度满足要求,为解决怠速抖动的最优方法。

4 结束语

针对产品开发过程中,整车怠速停车工况下驾驶舱座椅抖动速度不满足要求的问题,通过分析及测试验证,得出结论如下。

1)本文中动力总成旋转部件(如双离合器、双质量飞轮)动平衡是怠速抖动的主要振动来源。在设计 and 制造阶段,应严格控制关键旋转部件的动平衡标准,并在动力总成装配工艺中考虑平衡点的耦合效

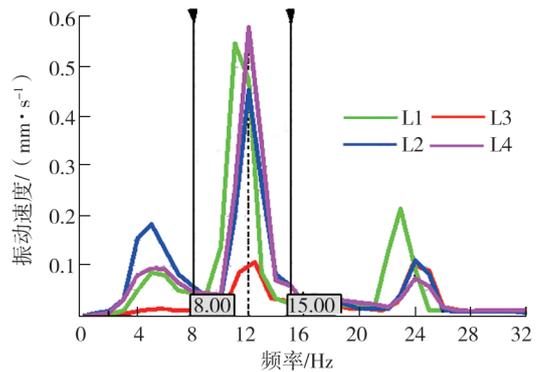


图4 不同动平衡离合器的振动速度曲线



图5 旋转前后标记对比

应,以从振动源解决怠速抖动问题。

2)若怠速转速设置不当,导致发动机振动频率与动力总成-悬置系统刚体模态频率耦合引发共振,怠速抖动被显著放大;在整车开发初期进行模态分析和怠速转速设置,使怠速激励频率与主要模态频率保持足够的安全裕度,是预防怠速共振的有效方法。

参考文献:

- [1] 许春英,王蔚. 2009年雷克萨斯RX350发动机怠速抖动[J]. 汽车维修技师,2023(9):88-89.
- [2] 应良卿. 2011年路虎揽胜运动怠速抖动[J]. 汽车维修技师,2023(6):55-56.
- [3] 秦崇兵. 2006款日产天籁车发动机怠速抖动[J]. 汽车维护与修理,2022(21):34-36.
- [4] 杨培兵. 2012款丰田汉兰达车发动机怠速抖动[J]. 汽车维护与修理,2022(3):61.
- [5] 张贵辉,石磊,李健,等. 某双质量飞轮怠速抖动问题的分析与改善[J]. 新技术新工艺,2022(12):97-101.
- [6] 刘显臣. 汽车NVH性能开发[M]. 北京:机械工业出版社,2018.
- [7] 任贺新. 2012款大众辉腾车发动机怠速抖动[J]. 汽车维护与修理,2020(11):31-34.
- [8] 刘小娟,夏运东. 汽车发动机怠速抖动故障诊断与排除[J]. 通讯世界,2018(1):313-314.
- [9] 徐星桥. 汽车发动机怠速抖动故障诊断与排除[J]. 现代制造技术与装备,2017(11):117.
- [10] 陈杰. 雷克萨斯RX350行驶中松加速踏板车辆跑偏[J]. 汽车维修技师,2018(8):67-68.
- [11] 陈杰. 雷克萨斯RX350行驶中松加速踏板时车辆跑偏[J]. 汽车维修技师,2017(3):73-74.
- [12] 唐梦柔,李骏. 本田发动机怠速抖动的故障检修及排除[J]. 公路与汽运,2012(5):31-34.
- [13] 张云鹏,韩会臣. 宝马轿车怠速抖动、行驶无力故障排除[J]. 汽车维修,2011(3):38-39.
- [14] 苏建国. 佳美4S-FE发动机怠速发抖故障检修[J]. 汽车维修,2011(7):8-10.
- [15] 周超. 别克君威轿车发动机怠速抖动的故障诊断与检修[J]. 吉林农业,2010(12):349.

Analysis and optimization of vehicle idle speed vibration

ZHOU Weiqiang, BAI Xiaoting, HU Junfeng,
ZHANG Yan, LIN Xiaozhe

Wuxi InfiMotion Propulsion Technology Co., Ltd., Wuxi 214000, China

Abstract: To solve the problem of idle vibration during vehicle development and identify its causes, idle speed vibration tests and rotating component dynamic balance tests are carried out to analyze the impacts of rotating component dynamic balance and idle speed setting on vibration velocity. An optimization method is adopted by adjusting the dynamic balance and setting the idle speed to 700 r/min. The results show that the vibration velocity of the test point is not satisfied with the test requirement and the problem of idle vibration can not be solved when the spline of the dual clutch is assembled with the spline of the dual mass flywheel by rotating 180° degrees in the original state. The degree of vehicle vibration increases with the rise of idle speed. When the vibration frequency corresponding to the idle speed is close to the rigid body modal frequency of the vehicle powertrain, the vehicle vibration becomes more obvious. When the idle speed is adjusted to 700 r/min, the corresponding vibration frequency is 11.7 Hz, and the vibration velocity at the measuring points meets the test requirements, which is the optimal solution.

Keywords: automatic transmission; idle speed; idle vibration; vibration test

(责任编辑:胡晓燕)