



扭转振动是动力传动系振动的一种主要形式，影响着车辆的 NVH 性能。传动轴、后桥的扭振是导致车辆共振的重要因素之一。传动轴增加扭转吸振器（TVD）可以改善动力传动系统的扭转振动，有利于提升车辆的 NVH 性能。

□ 安徽江淮汽车集团股份有限公司 吕孟理 温敏 邵文彬

扭转吸振器特性对动力传动系统扭振影响

橡胶阻尼式扭转减振器广泛应用于发动机和传动系统的减振，常见的发动机减振带轮就是橡胶阻尼式扭转减振器，它由轮毂、橡胶和外环组成，主要是衰减发动机轮系的扭转振幅。

扭转吸振器（TVD）是一个类似橡胶阻尼式扭转减振器的惯量盘，它装配在传动轴上但并不传递转矩，而是用来衰减连接轴系的扭振。传动轴扭转吸振器结构及其实物装车情况如图 1 所示。

扭转吸振器的工作原理

发动机纵置的动力传动系统包含发动机、变速器、传动轴装置及后桥等，扭转吸振器装配在后桥与传动轴之间，通过扭转吸振器衰减传动系统扭振，从而减小车辆的振动噪声。

1. 带扭转吸振器传动系统动力学模型

橡胶阻尼式扭转吸振器的固有频率是其最重要的性能参数，其固有频率与橡胶圈扭转刚度、外环惯量、阻尼等有关，其固有频率求解可用 Kelvin-Voigt 动力学模型进行分析计算。

2. 带扭转吸振器的动力学模型与振动微分方程

车辆动力传动系统扭振研究包括自由振动分析

和强迫振动分析两大类，通过无阻尼自由振动确定系统特征频率及其振型，通过强迫振动分析确定动力传动系统的受激传递响应。

动力传动系统扭转振动力学建模通常用集中参数法，即根据简化前后系统动能和势能保持不变的原则，将实际汽车动力传动系统简化为无弹性的惯性盘和无质量的弹性轴组成的带分支当量轴系统，按照上述方法建立的动力传动系统带 TVD 强迫振动模型如图 2 所示。

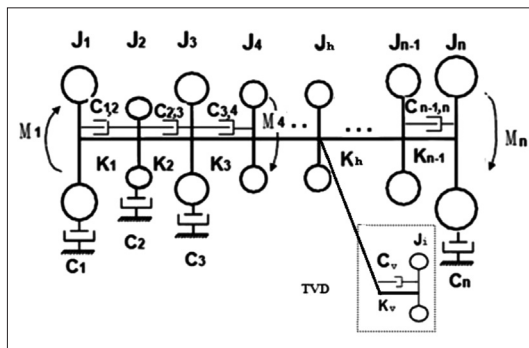


图 2 动力传动系统强迫振动模型

强迫振动模型运动振动微分方程如下：

$$[J] \ddot{\theta} + [C] \dot{\theta} + [K] \theta = \{M\} \quad (1)$$

扭转吸振器的整车建模分析

本文利用 Imagine.Lab AMESim 软件对整车动力传动系统进行建模，以某车型的直接档（四档）1 500 r/min 左右动力传动系统扭振问题为例，分析 TVD 特性对动力传动系统扭振的影响。

1. 自由振动模态分析

四档动力传动系统的模态分析结果见表 1。

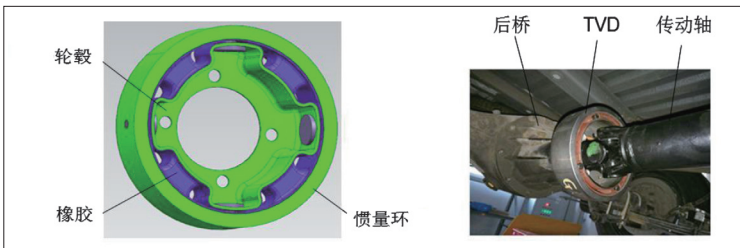


图 1 扭转吸振器结构及其实物装车图

表 1 四档动力传动系统模态分析 (单位 : Hz)

阶次	1	2	3	4	5
无 TVD	2.4	9.0	25.9	86.8	306.5
增加 TVD	2.4	9.0	24.7	50.9	90.8

通过分析, 增加扭转吸振器后动力传动系统增加了 50 Hz 左右的模态, 根据 Kelvin-Voigt 力学方程得知其为扭转吸振器的固有频率。

2. 强迫振动分析

本文按照集中参数建模方法对车辆增加扭转吸振器进行分析, 以发动机飞轮、变速器输入轴、传动轴的 2 阶角加速度作为研究对象, 分析 TVD 的外环惯量、扭转刚度特性对动力传动系统的扭振影响。由于橡胶阻尼很小且受生产一致性、环境因素影响很大, 不对其特性进行分析说明。

(1) 扭转刚度对传动系统扭振影响

TVD 外环转动惯量不变, 三种 TVD 扭转刚度及其固有频率参数见表 2。

不同 TVD 扭转刚度的变速器输入轴、传动轴 2 阶角加速度

分析如图 3 所示。

分析数据总结如下:

1) 变速器输入轴、传动轴在 1 500 r/min 左右存在峰值扭振特征。

2) 设计值扭转刚度 (固有频率 50 Hz) 对 1 500 r/min 左右扭振有很好的改善, 而该转速对应的 2 阶扭振为 50 Hz (2 阶为主阶次), 增加扭转刚度 (固有频率为 75 Hz) 的 TVD 在 2 250 r/min 有比较好的扭振衰减效果 (对应 2 阶扭振为 75 Hz)。

3) 增加 TVD 以及 TVD 的扭转刚度变化对发动机飞轮端输出扭振影响不大。

4) 上述分析表明, 增加 TVD 可以很好地改善对应动力传动系统扭振特性频率的扭振问题, 也可以理解 TVD 可以吸收其固有频率对应的传动系统扭振。

表 3 三种 TVD 外环惯量特性参数

项目	run1	run2	run3
惯量变化方向	↑ +300%	设计值	↓ -55%
TVD 外环转动惯量 / $\text{kg} \cdot \text{m}^2$	0.04	0.01	0.00445
TVD 扭转刚度 / Nm/rad	990	990	990
TVD 固有频率 / Hz	25	50	75

(2) 外环惯量对传动系统扭振影响

TVD 扭转刚度不变, 三种 TVD 外环惯量及其固有频率特性参数见表 3。

不同 TVD 外环惯量变速器输入轴、传动轴 2 阶角加速度分析结果如图 4 所示。分析数据总结如下:

1) TVD 的外环惯量变化对变速器输入轴、传动轴扭振与其扭转刚度变化有相似特点。

2) TVD 的外环惯量值对其动力传动系统扭振衰减有很大影响, 增加外环惯量可进一步改善吸收扭振效果。

3) 增加 TVD 以及 TVD 的外环惯量变化对发动机飞轮端输出扭振影响不大。

4) 上述分析表明, TVD 外环惯量增加可以进一步改善其固有频率对应的传动系统扭振, 但外环惯量增加太多对生产和装配动平衡、橡胶耐久提出很高要求。

表 2 三种 TVD 扭转刚度特性参数

	run1	run2	run3
刚度变化趋势	↓ -75%	设计值	↑ +120%
TVD 扭转刚度 / Nm/rad	248	990	2220
TVD 外环转动惯量 / $\text{kg} \cdot \text{m}^2$	0.01	0.01	0.01
TVD 固有频率 / Hz	25	50	75

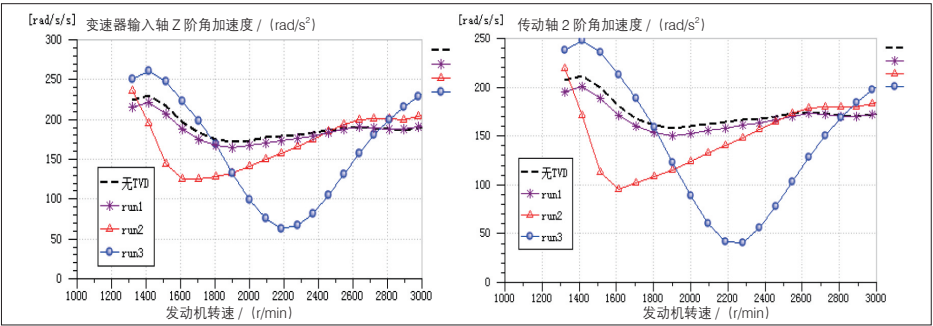


图 3 四档时不同 TVD 扭转刚度对扭振衰减效果

扭转吸振器的整车装车验证

针对上述分析, 选择 50 Hz 左右的吸振器进行装车验证, 其具体参数见表 4。

装车后, 测试后排右侧座椅

表 4 装车验证的 TVD 参数

项目	设计值
TVD 外环转动惯量 / $(\text{kg} \cdot \text{m}^2)$	0.01
TVD 扭转刚度 / $(\text{N} \cdot \text{m/rad})$	990
TVD 固有频率 / Hz	50

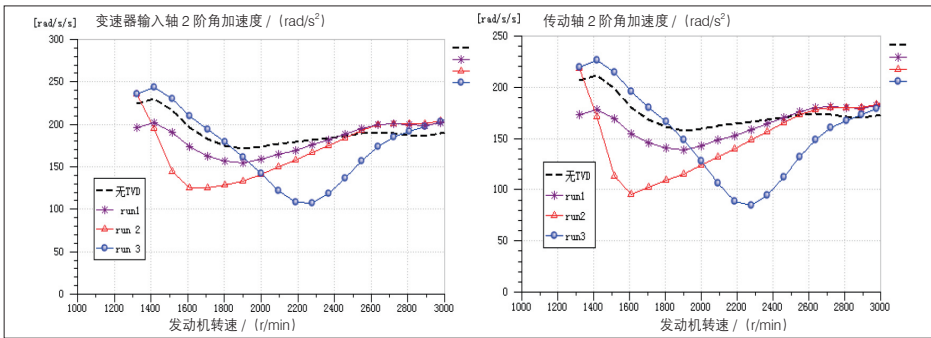


图4 四档时不同 TVD 外环惯量对扭振衰减效果

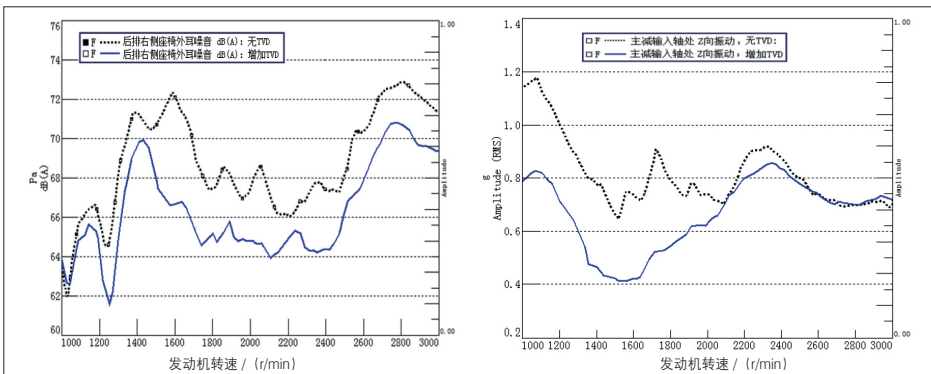


图5 TVD 装车前后的后排右耳噪声、主减输入轴处振动

外耳噪声、主减输入轴处差速器壳体振动，确认方案改善效果。

后排右侧座椅外耳噪声、主减输入轴处差速器壳体振动测试结果如图 5 所示。上述数据表明，增加 50 Hz 扭转吸振器可有效改善 1 500 r/min 左右整车噪声、振动问题。

结论

本文对扭转吸振器结构及其动力学模型进行说明，分析了增加扭转吸振器对动力传动系统的自由模态影响。通过建立动力传动系统动力学模型，分析扭转吸振器的扭转刚度、外环惯量对扭振的影响并做了总结，最后通过验证确认扭转吸振器特性对动力传动系统扭振改善效果。AI

(上接第 27 页)

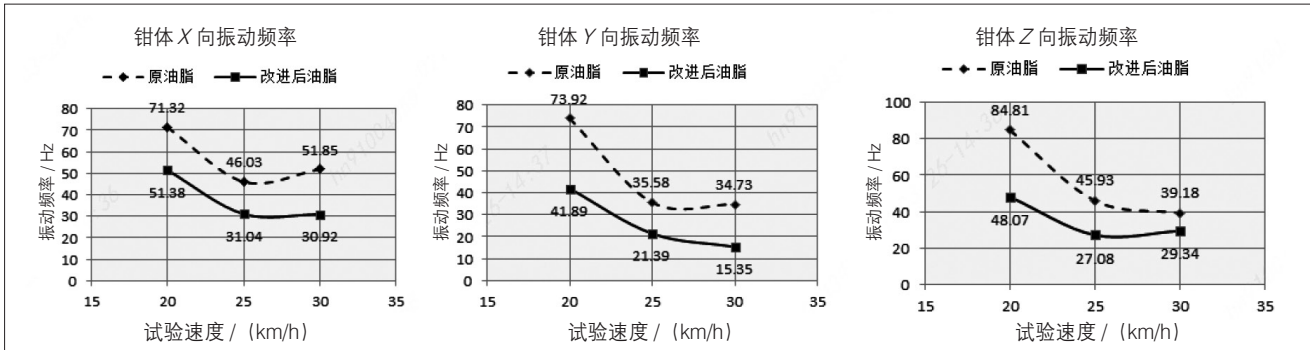


图6 不同润滑脂的钳体振动频率

表 1 油脂性能参数对比

油脂方案	厂家	牌号	油脂类型	稠化剂	运动黏度 / (40℃, cst)	相似黏度 / (-30℃, 10 s-1), Pa·s
原车油脂	长城	7608	混合钙、锂皂合润滑油	-	-	≤ 1500
改进后油脂	NYE	880	二甲基硅油	PTFE	18407	-

表 2 滑移力、拖滞力矩试验结果

样品编号						
序号	试验项目	试验要求	1#		2#	
			NYE880	长城 7608	NYE880	长城 7608
1	导向销滑移力	≤ 50 N	11.2	22.8	13.6	19.3
2	拖滞力矩	≤ 3.5 N·m	2.02	3.09	2.66	2.88

到制动器使用性能和寿命，一直以来成为各大制动器企业和主机厂共同关注的技术难题。本文通过对故障卡钳进行拆解，对影响振动异响问题的关键因素进行了分析。最终确定了制动器振动异响的根本原因，通过有效的改进措施消除了异响，同时提升了整车的燃油经济性，提高了产品的竞争力和客户的满意度。AI