

新能源动力传动系统NVH性能开发

NVH Performance Development of New Energy Powertrain

主讲人：陈达亮 博士

Presented by: Chen Daliang Ph.D.

中国汽车技术研究中心 汽车工程研究院

CATARC AERI

2018-11-06



中汽研NVH团队概况

AERI NVH Introduction



中國汽車技術研究中心·汽車工程研究院
AUTOMOTIVE ENGINEERING RESEARCH INSTITUTE

◆ **主要业务对象 Business Issue:** 整车及关键零部件NVH&BSR性能正向开发

NVH & BSR Development

◆ **业务开始时间 Founded Time:** 2004年-至今

From 2004

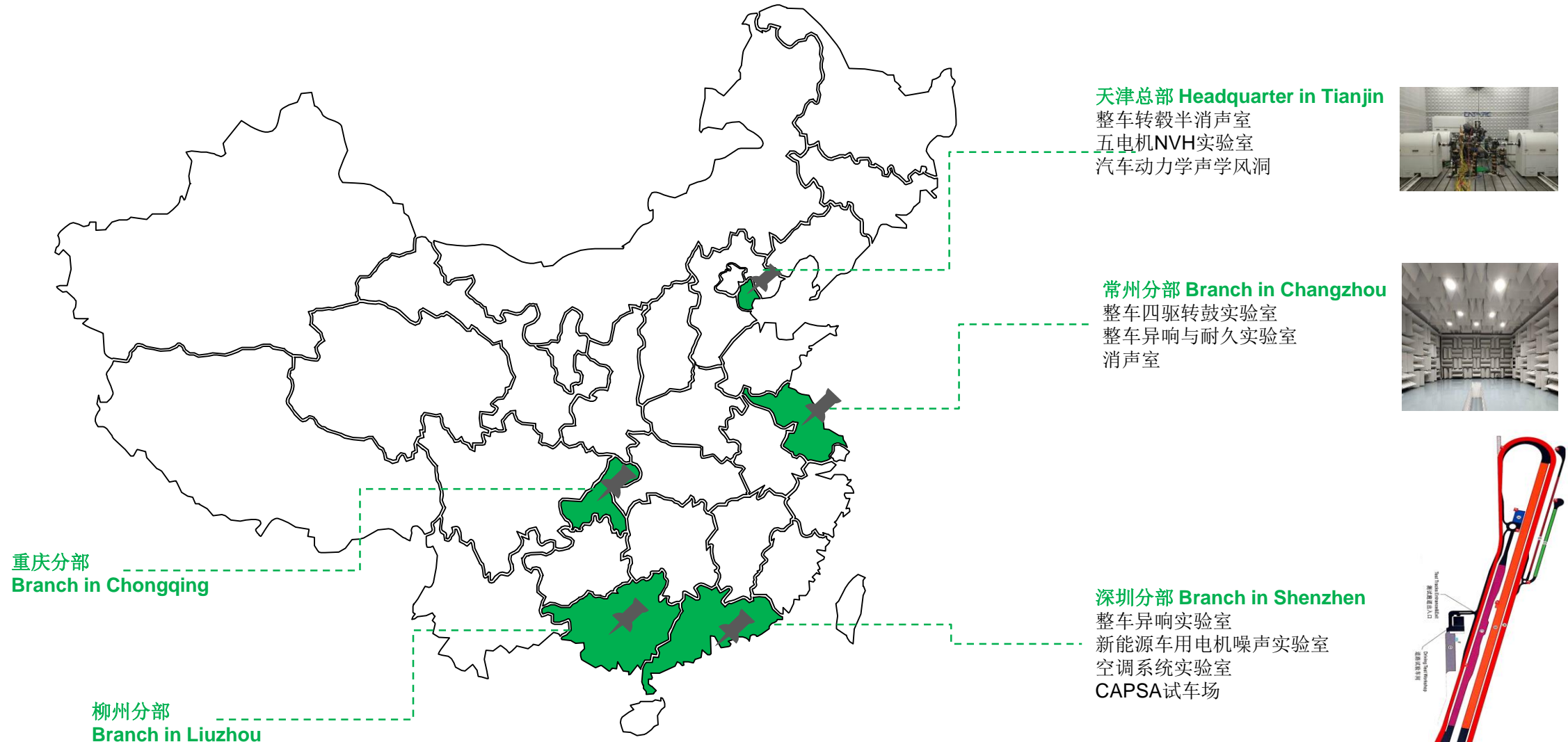
◆ **国内团队规模 Group Scale:** 截止2017年, 200人左右

200 people



中汽研NVH领域全国分布概况

AERI NVH Survey in China



1

动力传动系NVH问题与特征
Powertrain NVH Issues and Characteristic

2

动力传动系NVH试验技术
Powertrain NVH Testing Technology

3

动力传动系NVH仿真技术
Powertrain NVH Simulation Technology

4

动力传动系NVH控制技术发展趋势
Trend of Powertrain NVH Control Technology

1

动力传动系NVH问题与特征
Powertrain NVH Issues and Characteristic

2

动力传动系NVH试验技术
Powertrain NVH Testing Technology

3

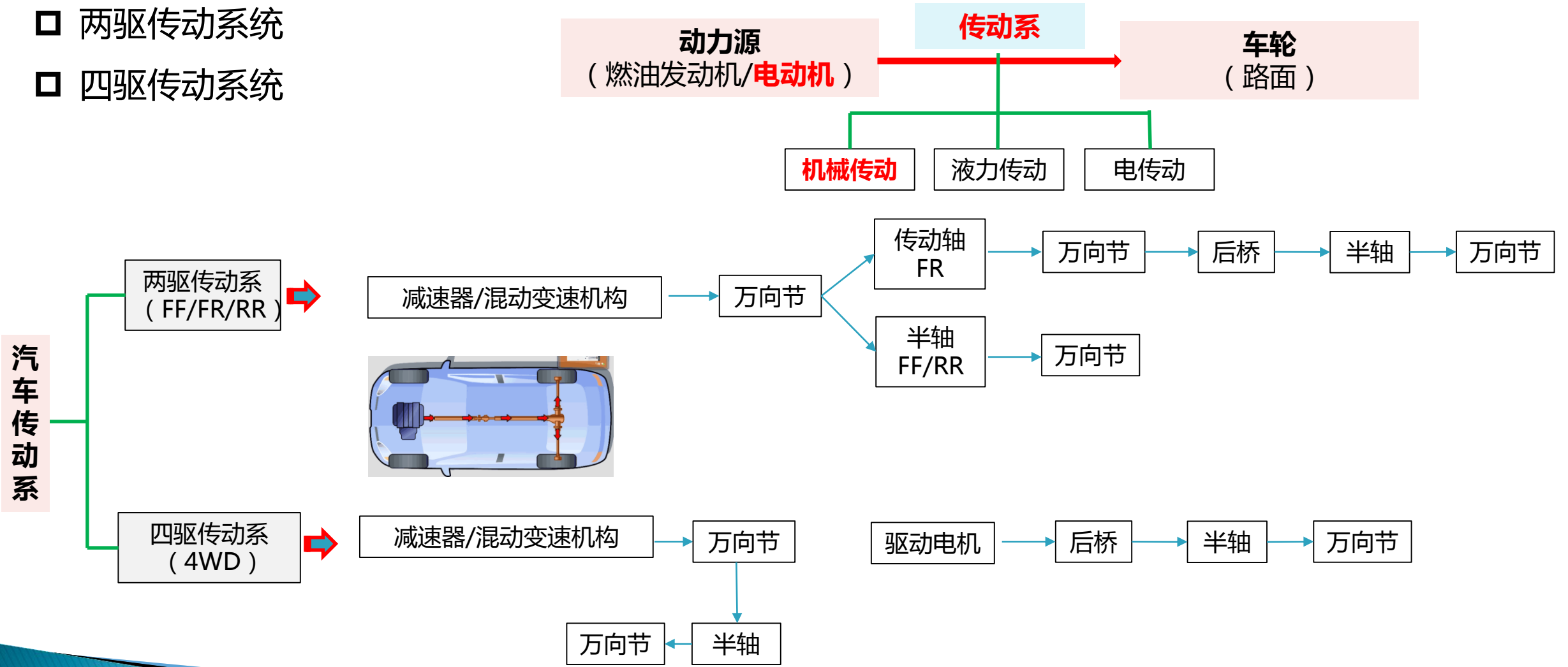
动力传动系NVH仿真技术
Powertrain NVH Simulation Technology

4

动力传动系NVH控制技术的发展趋势
Trend of Powertrain NVH Control Technology

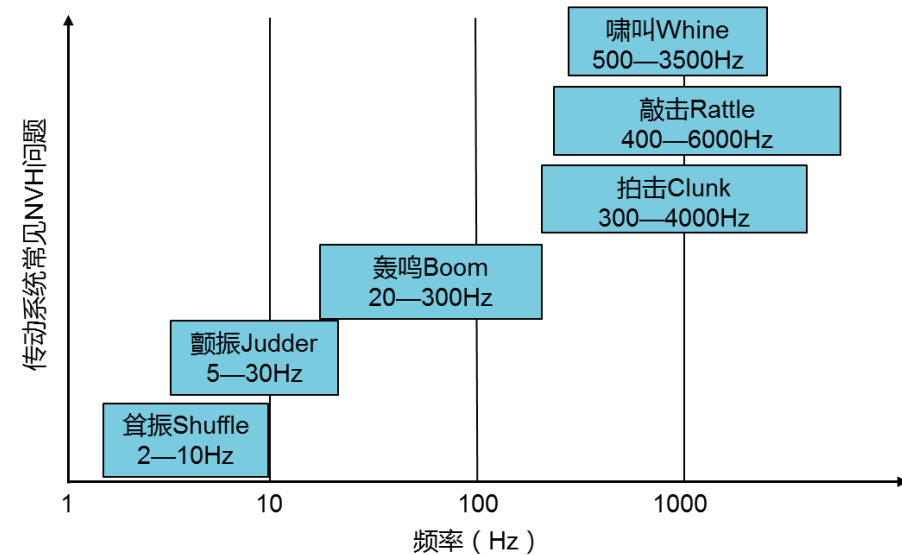
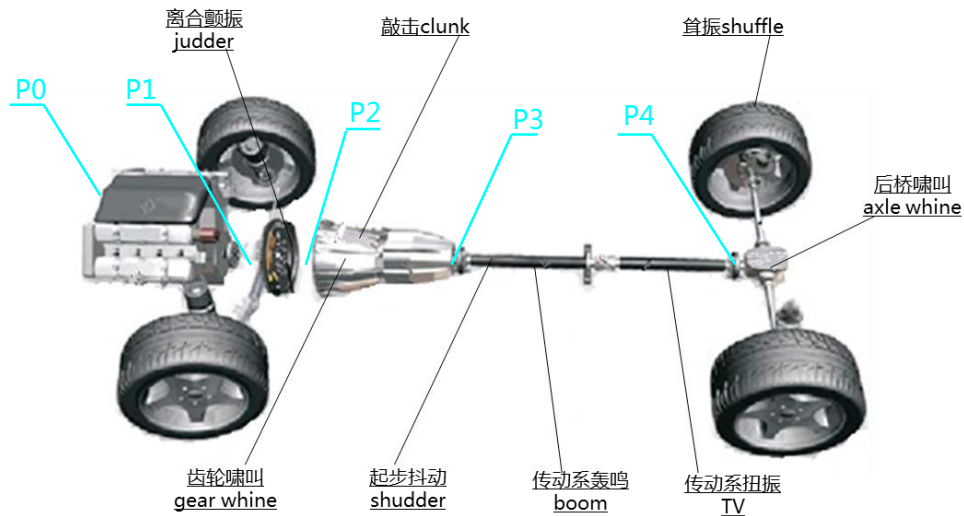
1.1 新能源汽车传动系分类

- 两驱传动系统
- 四驱传动系统



1.2 新能源汽车动力传动系NVH问题分类

- 周期载荷激励
- 瞬态载荷激励



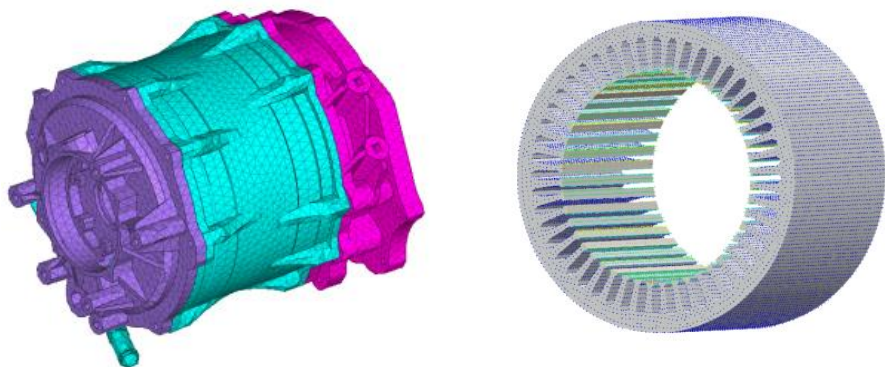
1.3 驱动电机典型NVH问题——电磁噪声

- 问题定义：whine，具有明显**极槽数阶次及谐波特征**的噪声
- 产生机理：作用在定、转子之间气隙的**径向交变电磁力**引起

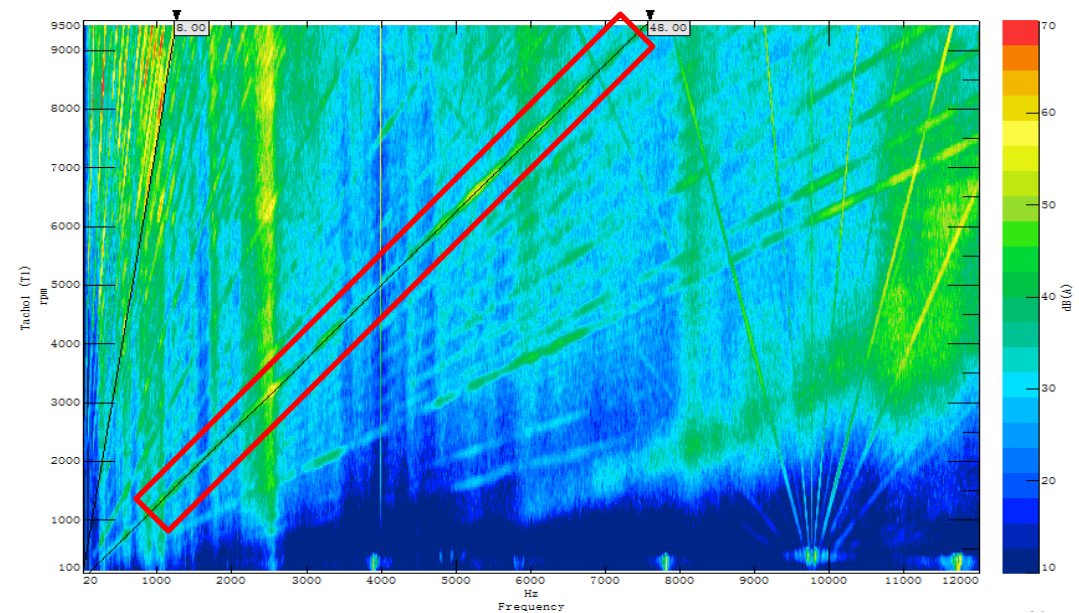
噪声音频示例：



$$F_{rad} = \frac{L}{2\mu_0} \oint (B_n^2 - B_t^2) dl$$



驱动电机电磁噪声预测
动力学模型

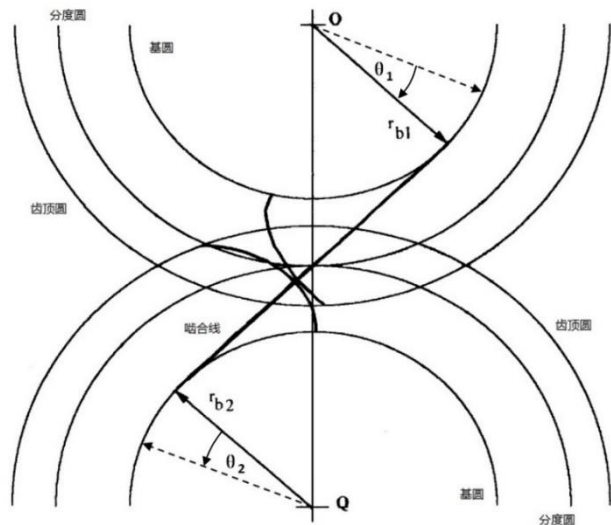
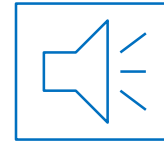


驱动电机台架噪声频谱

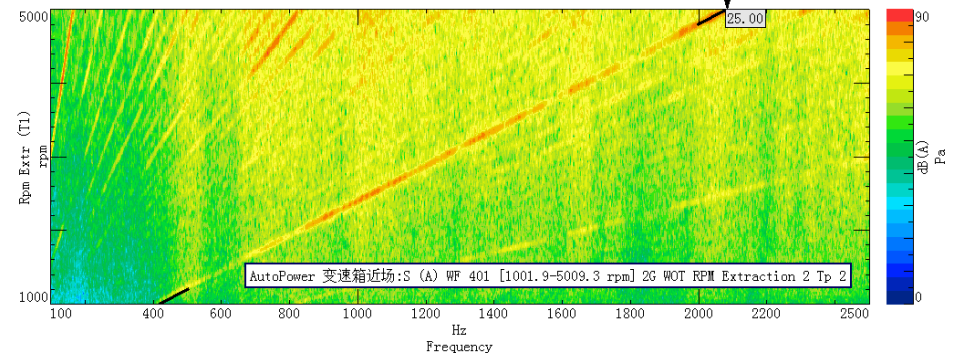
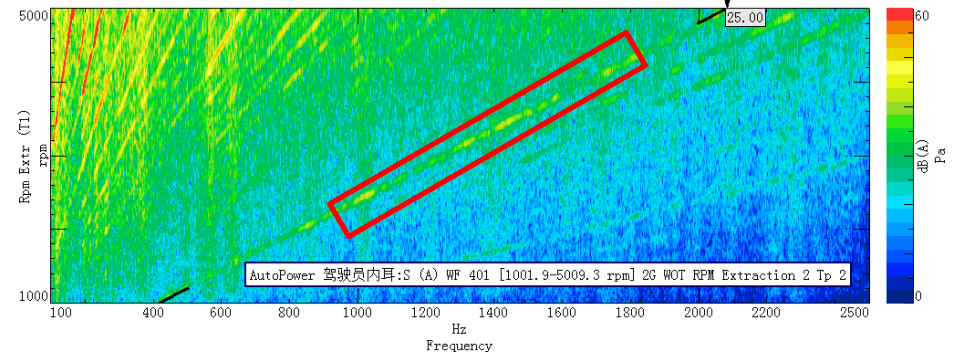
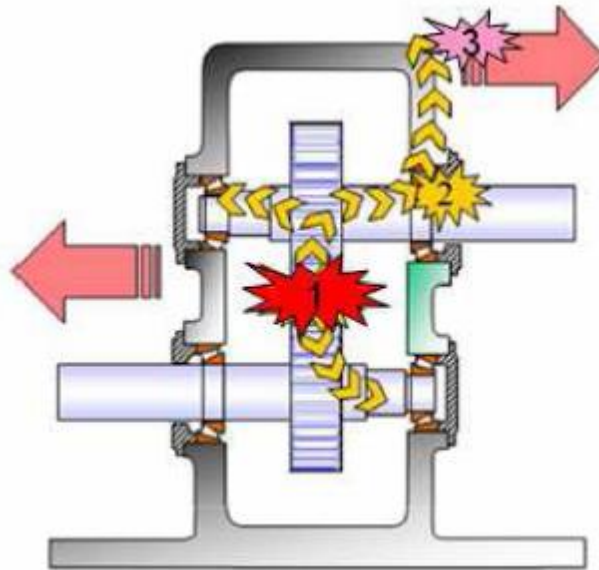
1.4 传动系典型NVH问题——啸叫

- 问题定义：whine，具有明显**齿轮副啮合阶次特征**的噪声
- 产生机理：由于齿轮传递误差引起的**动态啮合力波动**激励

噪声音频示例：



$$\text{位移误差} TE = r_{b1} * \theta_1 - r_{b2} * \theta_2$$

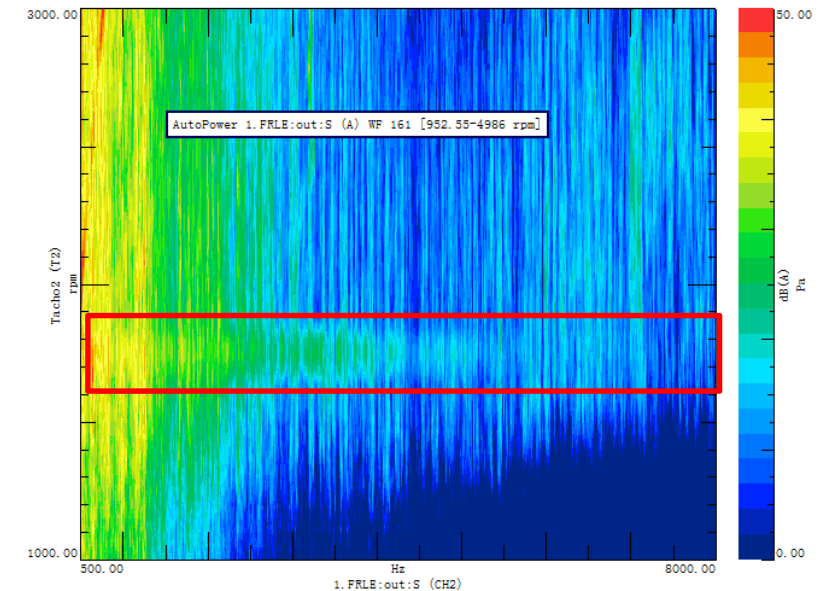
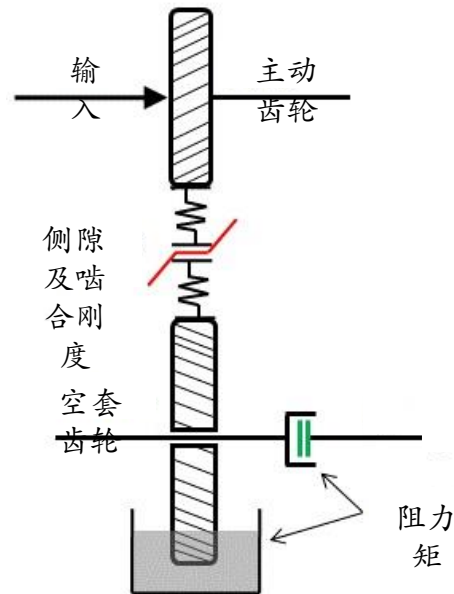
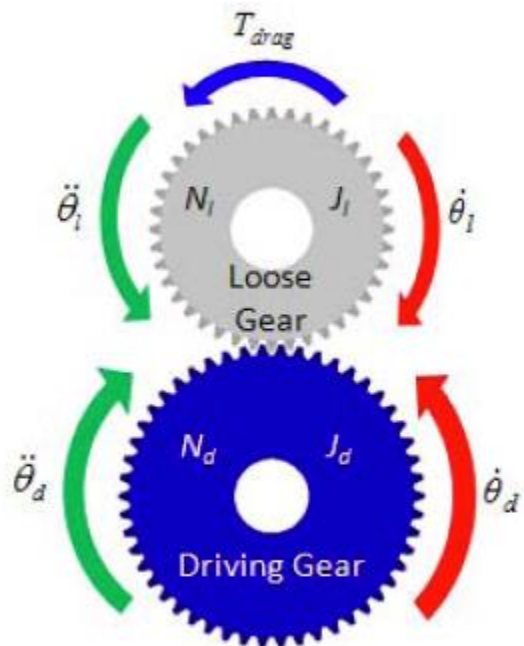


车内及近场啸叫频谱

1.5 传动系典型NVH问题——敲击

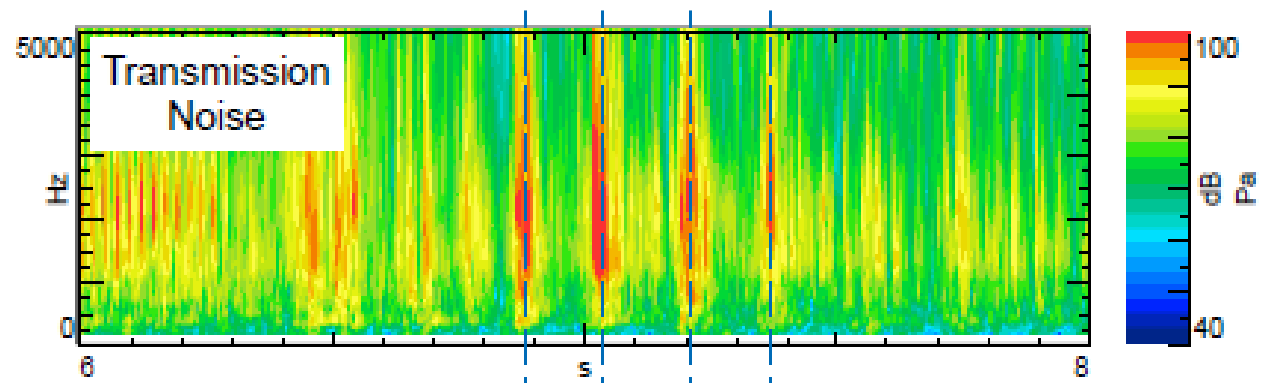
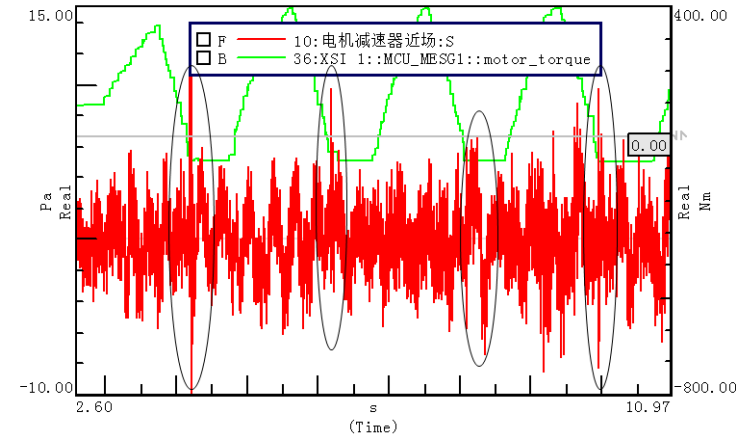
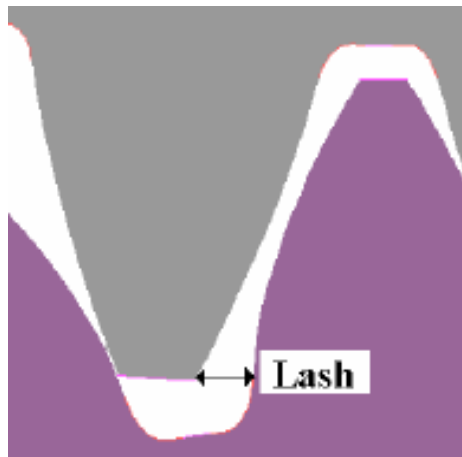
- 问题定义：rattle，“哒哒”声，宽频噪声特征
- 产生机理：非承载齿轮副在扭振激励下发生单面或双面**连续敲击**。非承载齿轮副**惯性力矩**大于**阻力矩**

噪声音频示例：



1.7 传动系典型NVH问题——冲击

- 问题定义：clunk，“哐哐”金属声，300-4000Hz频带特征
- 产生机理：驱动扭矩突变工况，在传动系侧隙间产生的**瞬态撞击**



噪声音频示例：



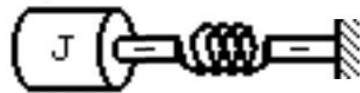
1.8 传动系典型NVH问题——扭转共振/扭转振动

- 英文名称：Torsional Vibration 简称 TV
- 扭转振动定义：弹性体绕其纵轴产生**扭转变形**的角振动

| 类型 | 载荷 | 描述参量 | | 振动参量 | | |
|-----|----|------|------|------|-----|-----|
| | | 刚度 | 质量 | 加速度 | 速度 | 位移 |
| 线振动 | 力 | | | | | |
| 角振动 | 力矩 | 扭转刚度 | 转动惯量 | 角加速度 | 角速度 | 角位移 |

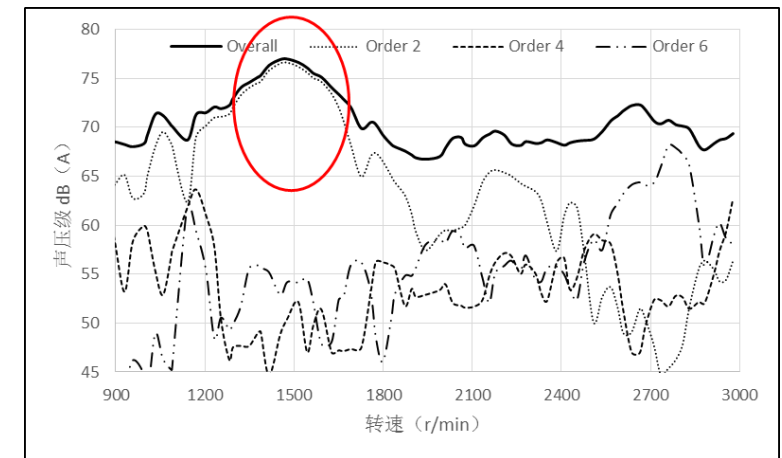
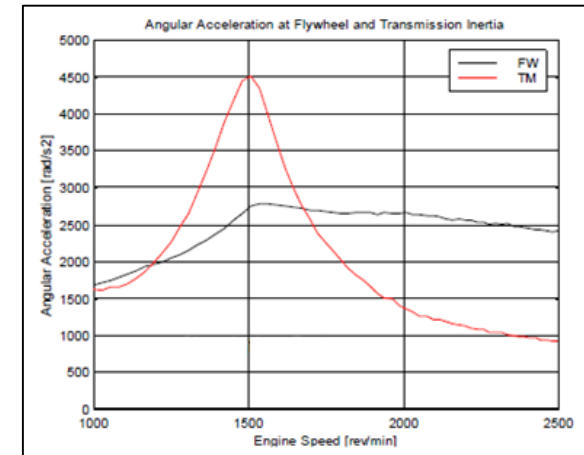


质量-弹簧模型



转动惯量-扭转刚度模型

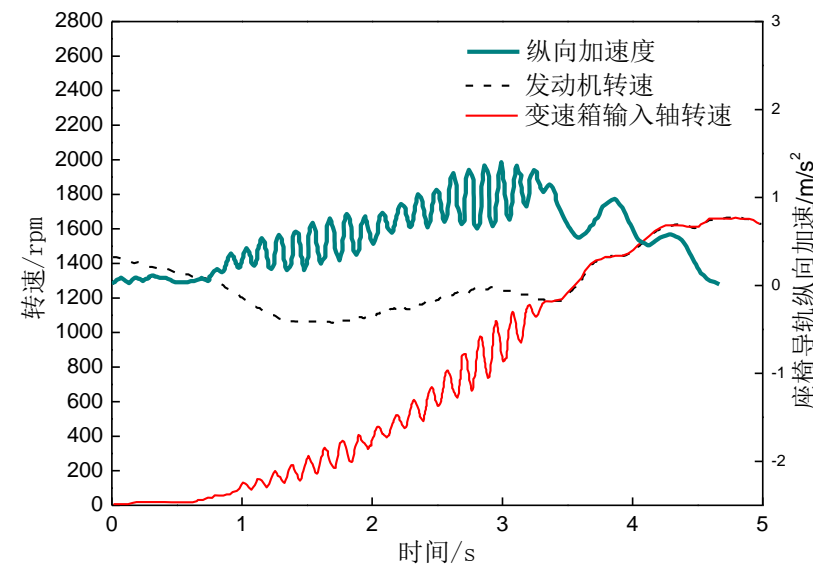
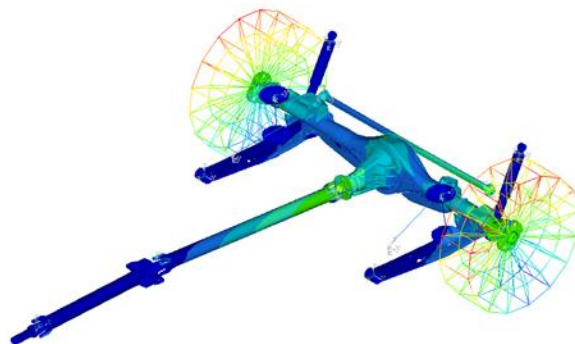
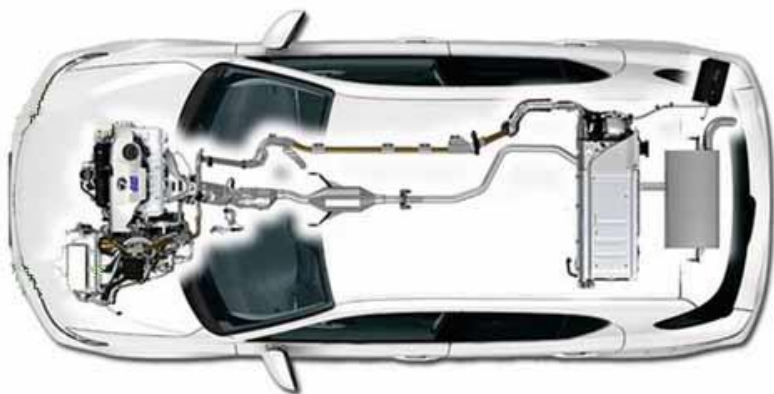
传动系扭转共振



车内Boom声问题

1.9 传动系典型NVH问题——低频抖动

- 问题定义：shuffle/judder/shudder，整车前后的**低频耸动**
- 产生机理：扭矩反向/摩擦面的粘滑/后驱万向节不等速等；耦合悬架/后桥俯仰运动



1

动力传动系NVH问题与特征
Powertrain NVH Issues and Characteristic

2

动力传动系NVH试验技术
Powertrain NVH Testing Technology

3

动力传动系NVH仿真技术
Powertrain NVH Simulation Technology

4

动力传动系NVH控制技术的发展趋势
Trend of Powertrain NVH Control Technology

2. 动力传动系NVH试验技术 Powertrain NVH Testing Technology

2.1 动力传动系NVH试验技术分类

- 基于整车状态的NVH试验测试技术
- 基于台架的NVH试验测试技术

整车级NVH试验

总成级NVH试验

零部件级NVH试验



AERI NVH试验场



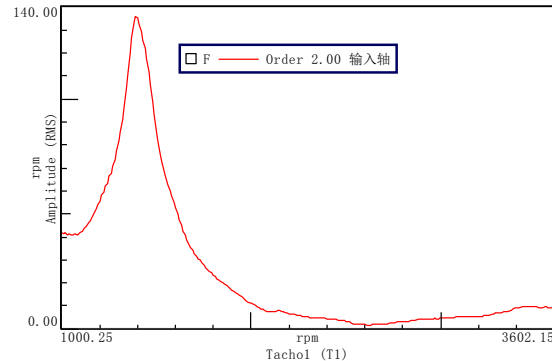
AERI 整车NVH转毂



AERI 五电机NVH台架

2.2 传动系扭转振动测试技术

- 磁电传感器：齿轮信号盘
- 光电传感器：黑白栅格纸带



2阶次扭振曲线

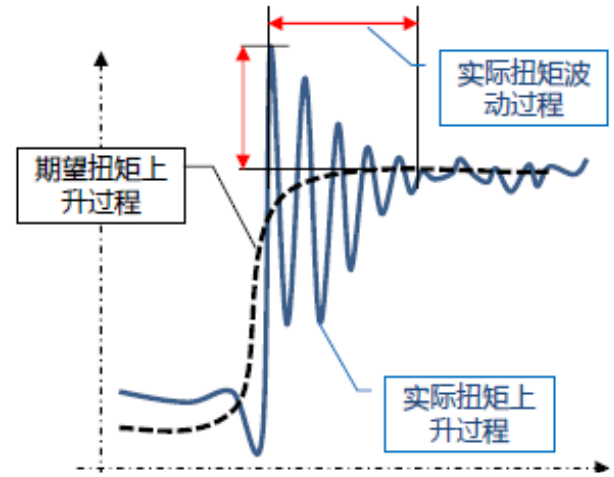
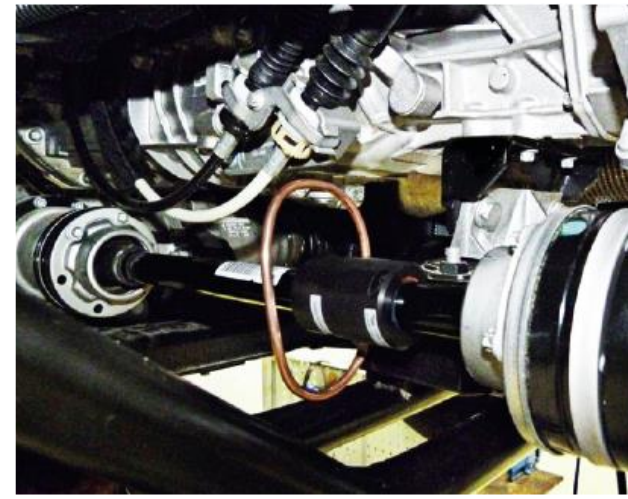
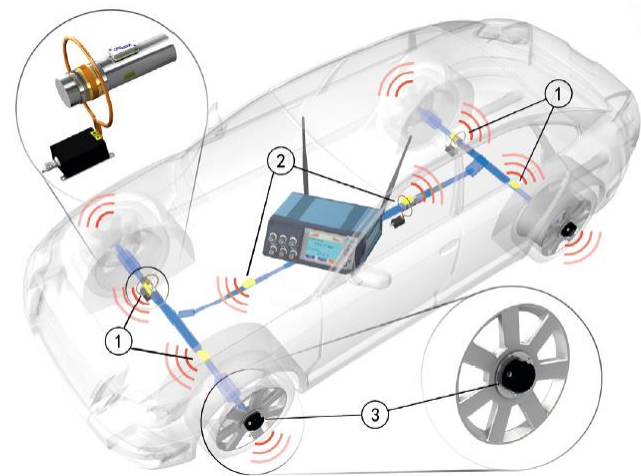
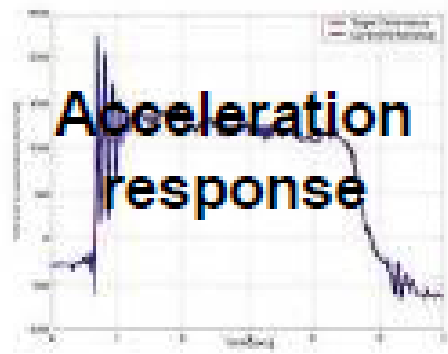


- 技术关注点：**
- 1) 高质量转角信号获取技术；
 - 2) 扭振异常信号处理技术；
 - 3) 传动系不同位置扭振目标设定。

2. 动力传动系NVH试验技术 Powertrain NVH Testing Technology

2.3 传动轴扭矩波动测试技术

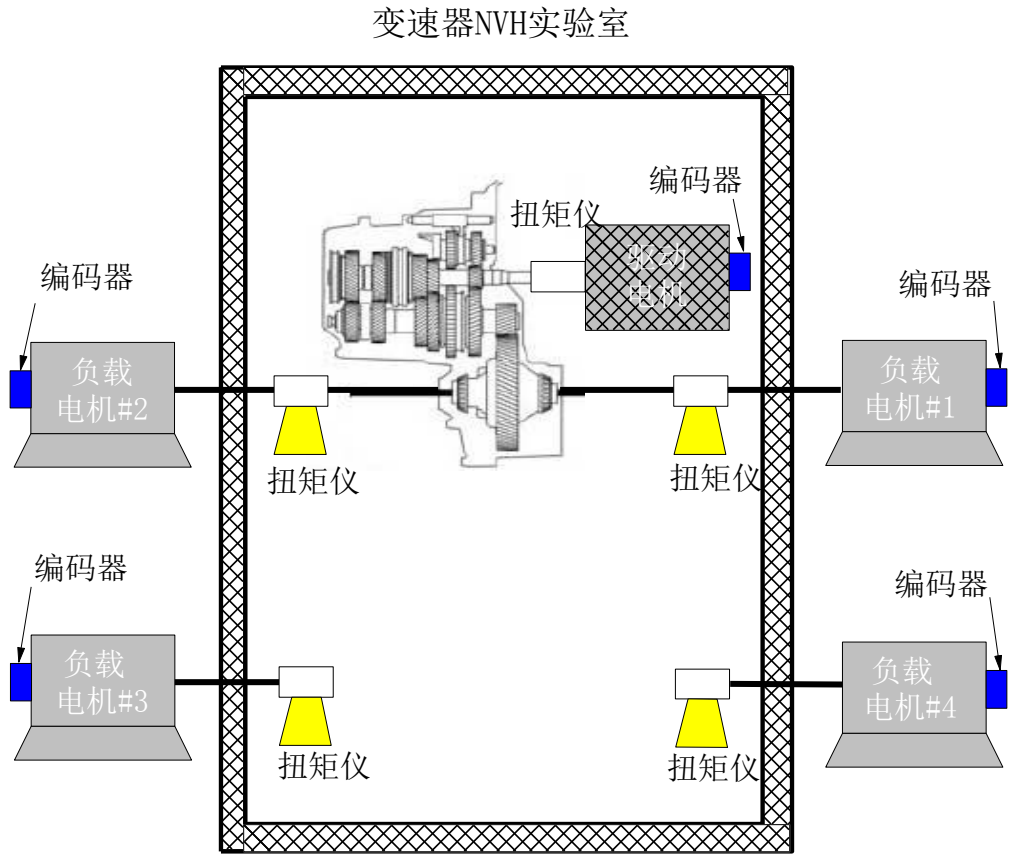
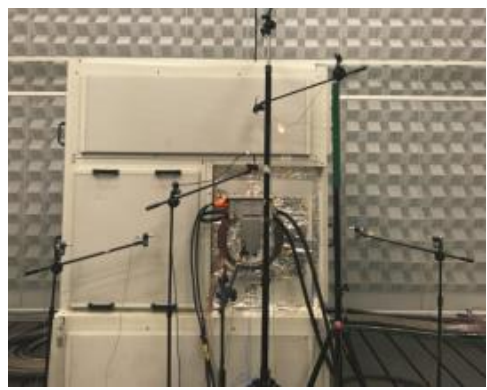
- 应变片：扭矩测试
- 无线发射接受装置：无线测试



技术关注点： 1) 应变片粘贴处理技术；
2) 扭矩-应变标定技术；
3) 传动系扭矩波动指标设定。

2.4 驱动电机振动噪声台架试验技术

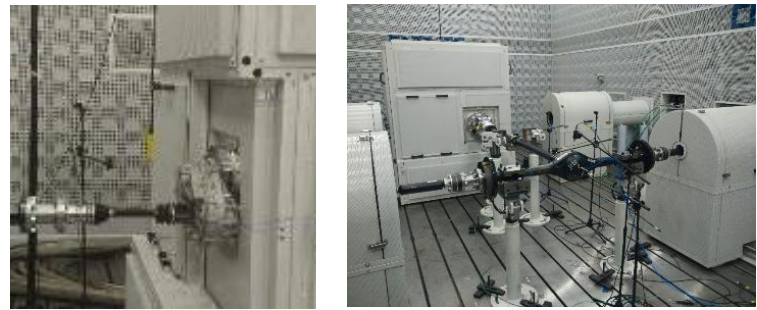
- 驱动电机振动噪声试验
- 一体化电机振动噪声试验



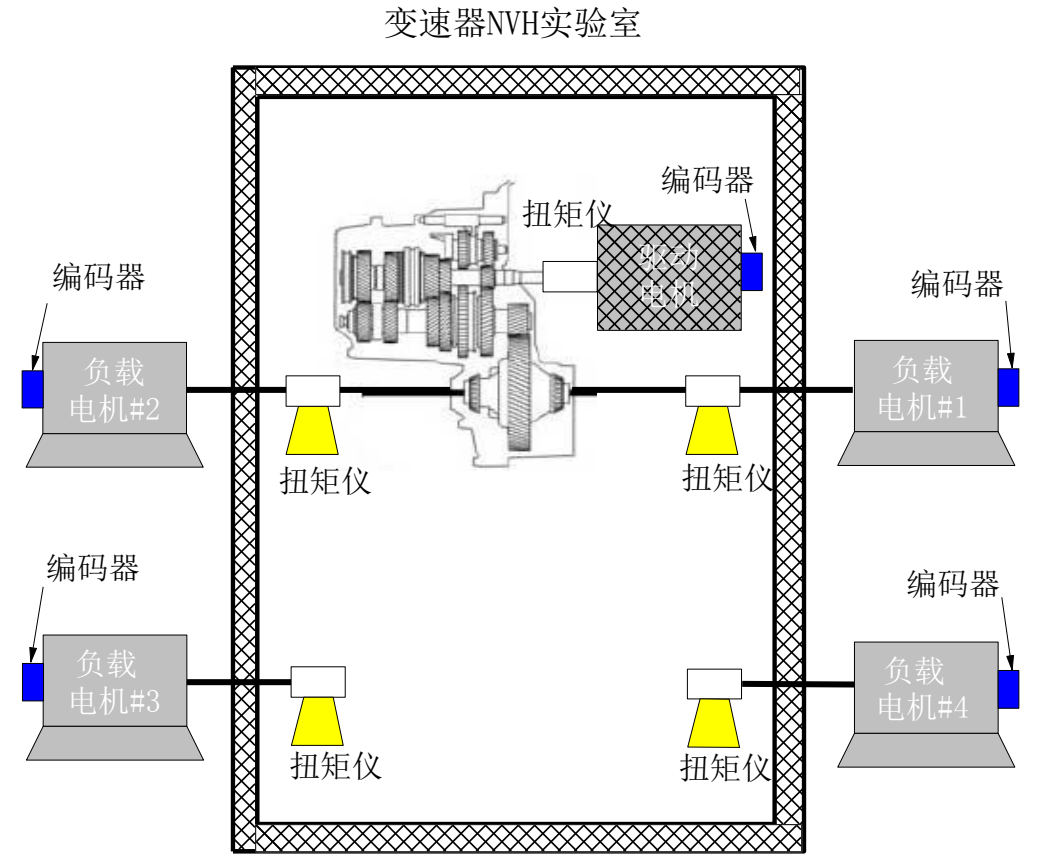
技术关注点： 1) 需要高速NVH驱动电机台架；
2) 试验工况的选择；
3) 评价方法及限值设定。

2.5 齿轮啸叫台架试验技术

- 变速机构近场噪声试验
- 变速机构传递误差试验

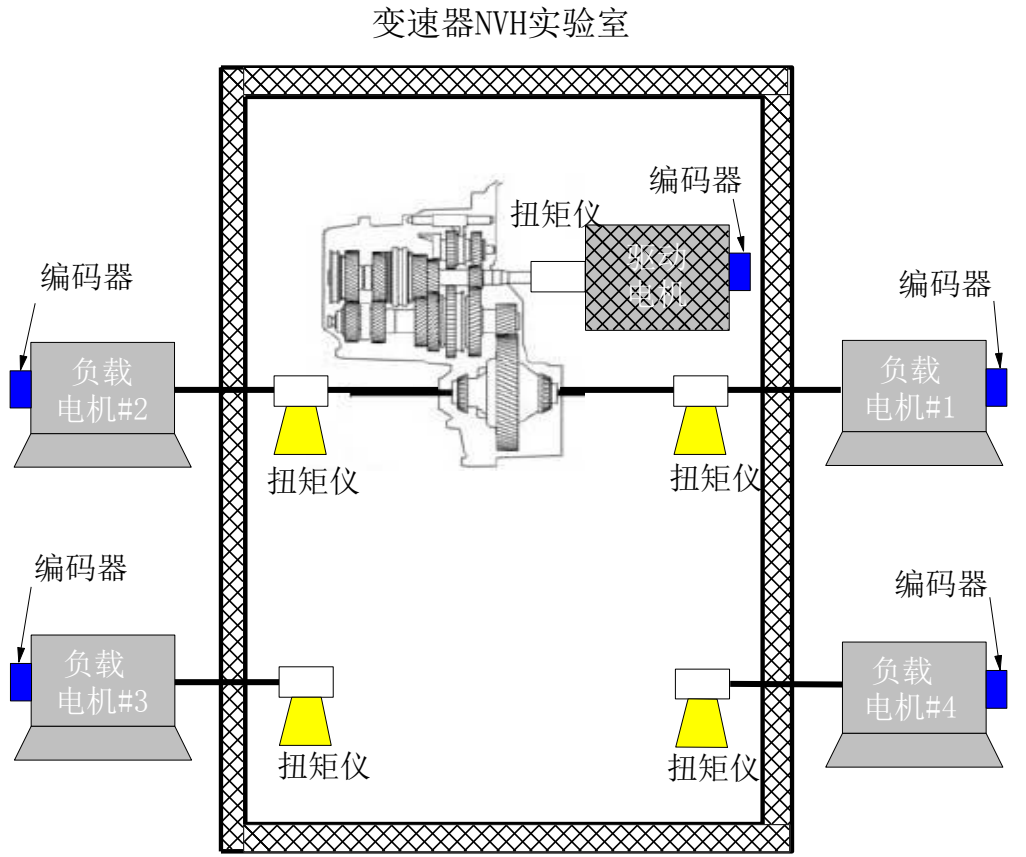
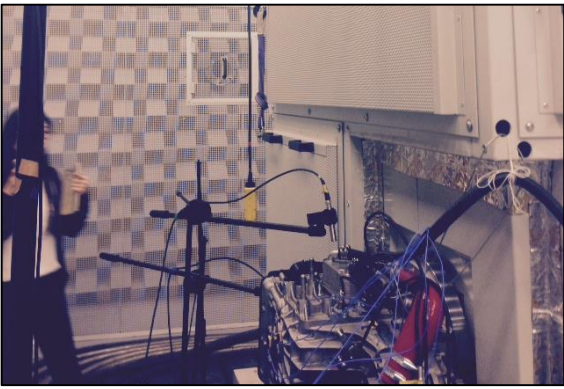
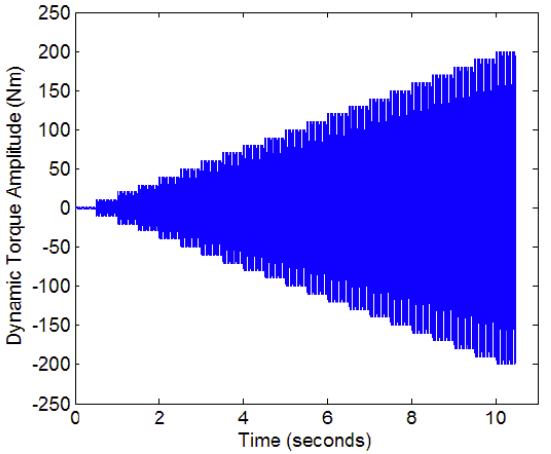


技术关注点： 1) 需要五电机或三电机NVH专用台架；
2) 试验载荷工况的选择；
3) 评价方法及限值设定。



2.6 变速器敲击台架试验技术

- 扭矩波动模拟
- 变速器润滑油温控制
- 敲击试验方法



技术关注点： 1) 扭矩波动模拟技术；
2) 变速器敲击噪声评价方法。

1

动力传动系NVH问题与特征
Powertrain NVH Issues and Characteristic

2

动力传动系NVH试验技术
Powertrain NVH Testing Technology

3

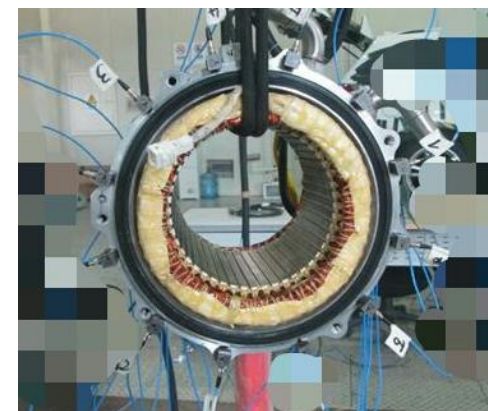
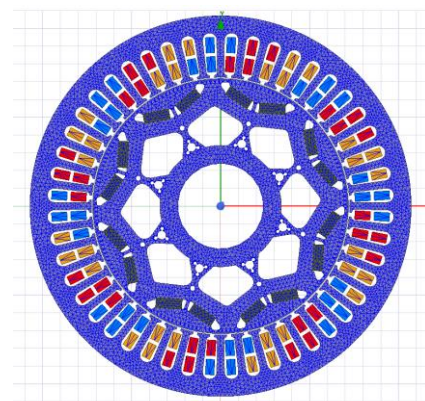
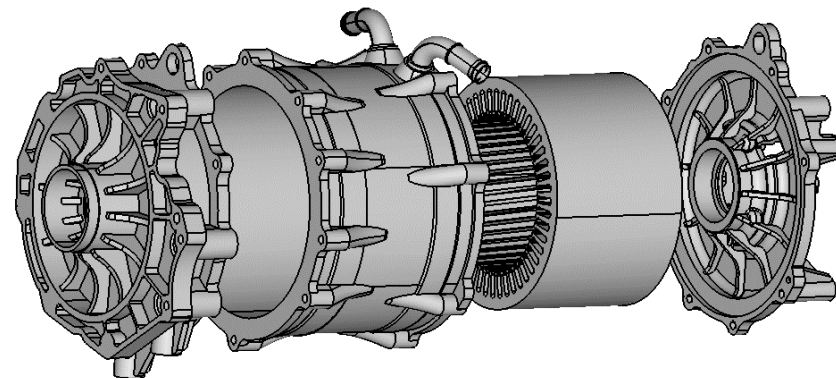
动力传动系NVH仿真技术
Powertrain NVH Simulation Technology

4

动力传动系NVH控制技术的发展趋势
Trend of Powertrain NVH Control Technology

3.1 电机电磁噪声仿真分析

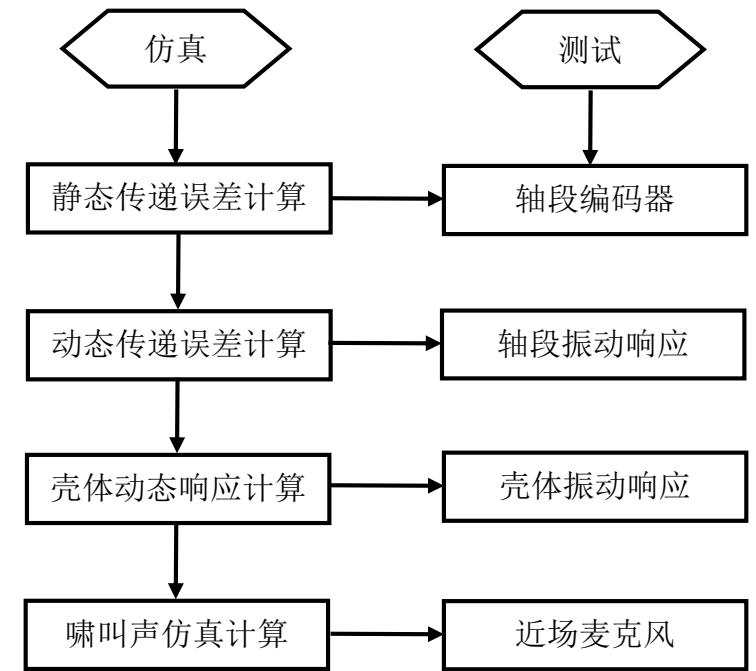
- 电机电磁仿真
- 电机结构动力学仿真
- 电机电磁-结构耦合仿真
- 电机声振响应分析



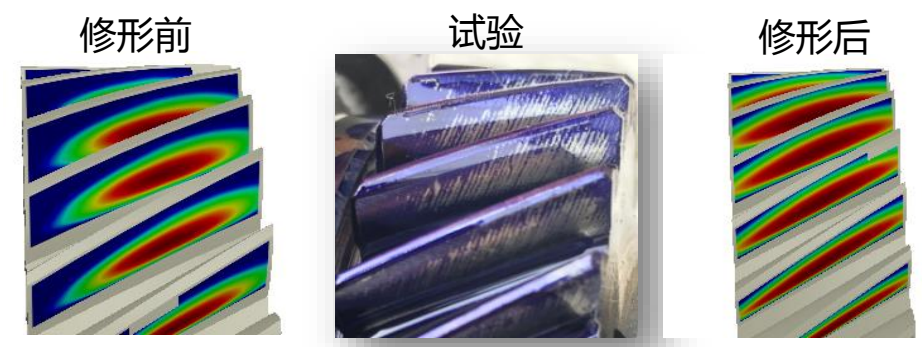
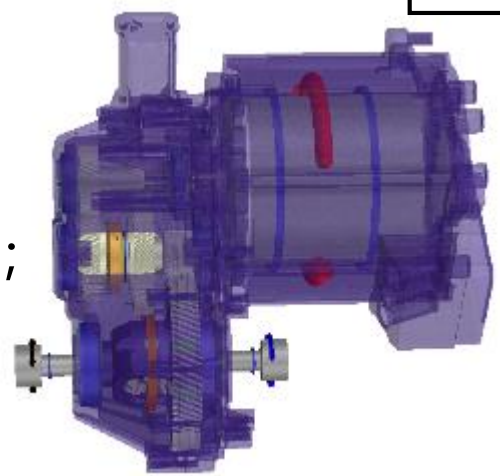
技术关注点： 1) 电磁力仿真影响因素及加载；
2) 机壳、定子及绕组动力学建模；
3) 电机定子结构声振响应分析。

3.2 传动系啸叫仿真分析

- 齿轮啮合动力学分析
- 齿轮传递误差分析
- 齿轮啮合应力分析
- 轴齿动力学特性分析
- 壳体动力学特性分析
- 总成声振响应分析

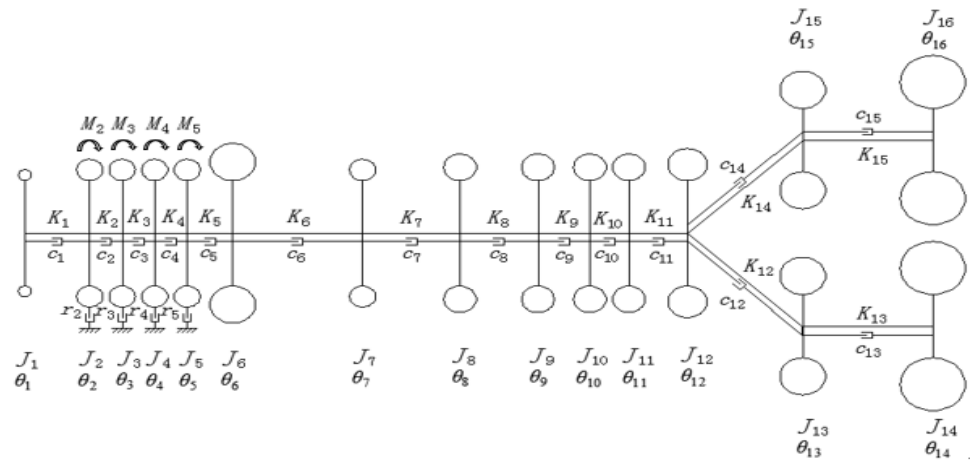
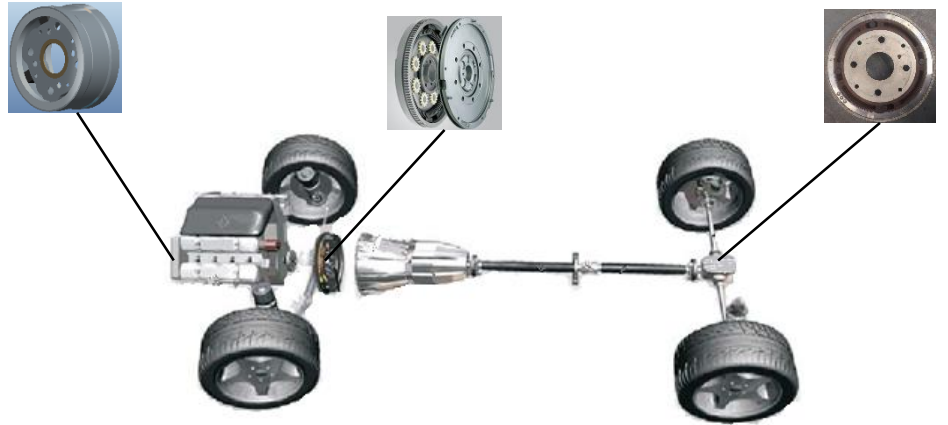


技术关注点： 1) 啮合动力学模型标定；
2) 修形参数工程优化；
3) 多工况优化稳健性。

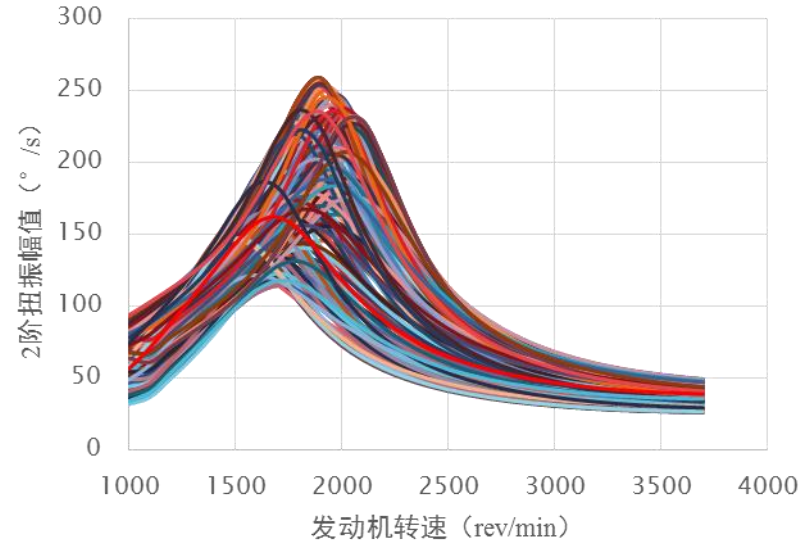


3.3 传动系扭振仿真分析

- 传动系统动力学仿真 (集总参数法/集总参数+FEM)
- 扭转减振器匹配设计
- 双质量飞轮匹配设计



θ —角位移
 J —转动惯量
 K —扭转刚度
 c —内阻尼
 r —外阻尼
 M —单缸输出力矩

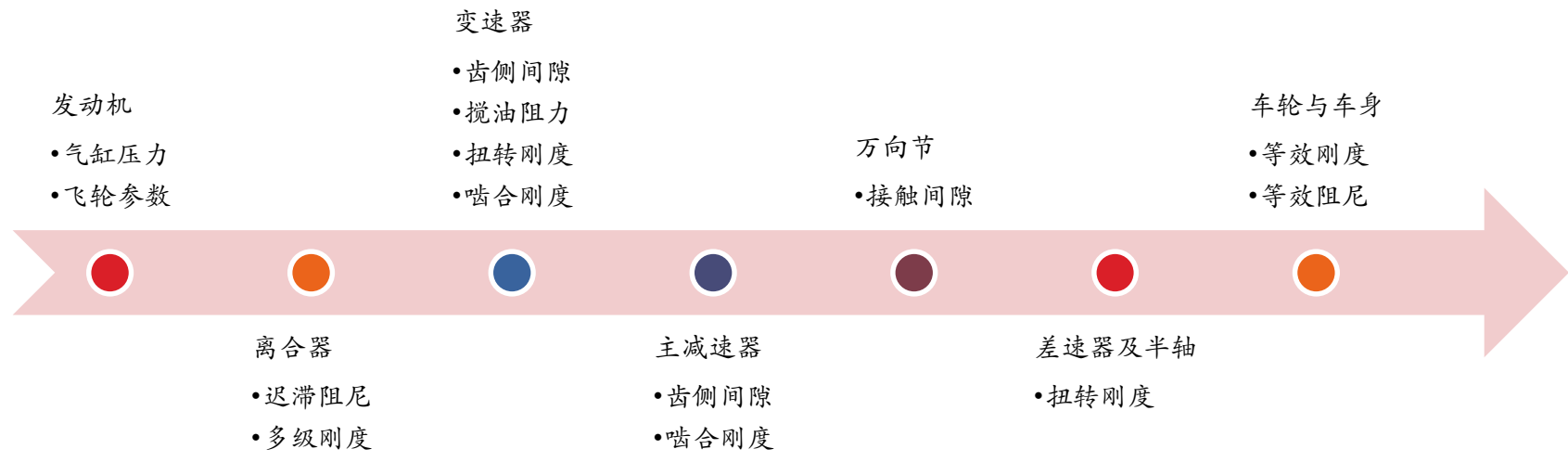


扭振参数优化

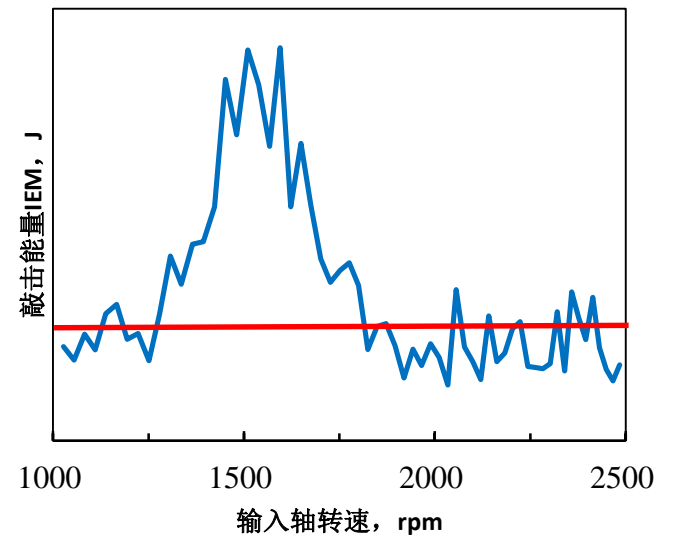
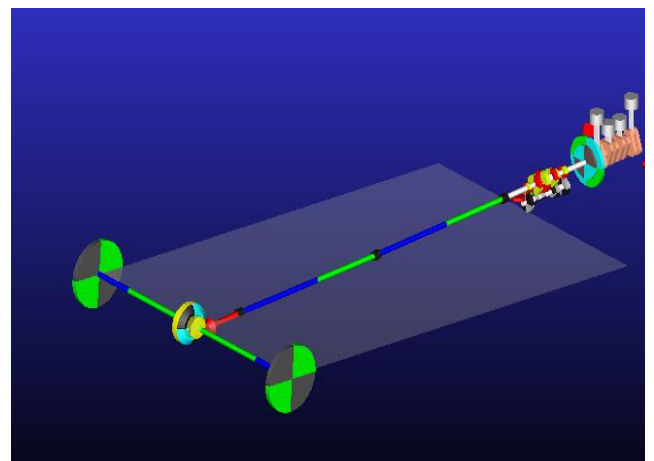
技术关注点： 1) 合理的参数等效；
 2) 阻尼特性参数获取。

3.4 传动系敲击仿真分析

- 敲击评价指标
- 敲击动力学模型
- 敲击灵敏度分析
- 敲击阈值设定

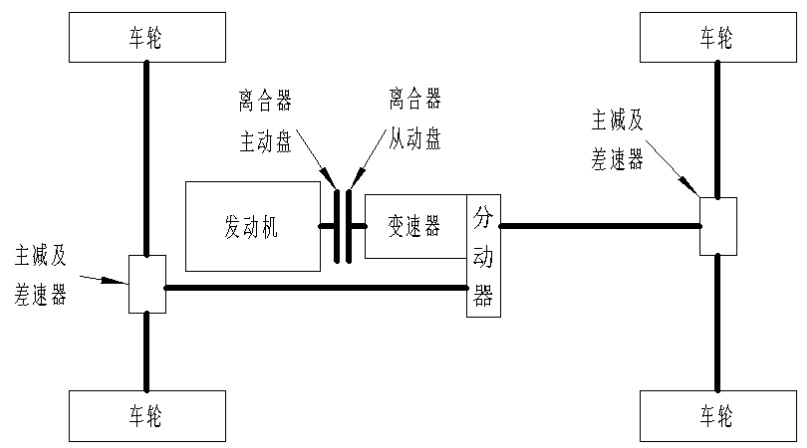


技术关注点 : 1) 敲击指标定义 ;
 2) 阻力矩参数获取 ;
 3) 敲击阈值确定。



3.5 传动系低频抖动仿真分析

- ▣ 起步抖动仿真
- ▣ 后桥wind-up耦合分析

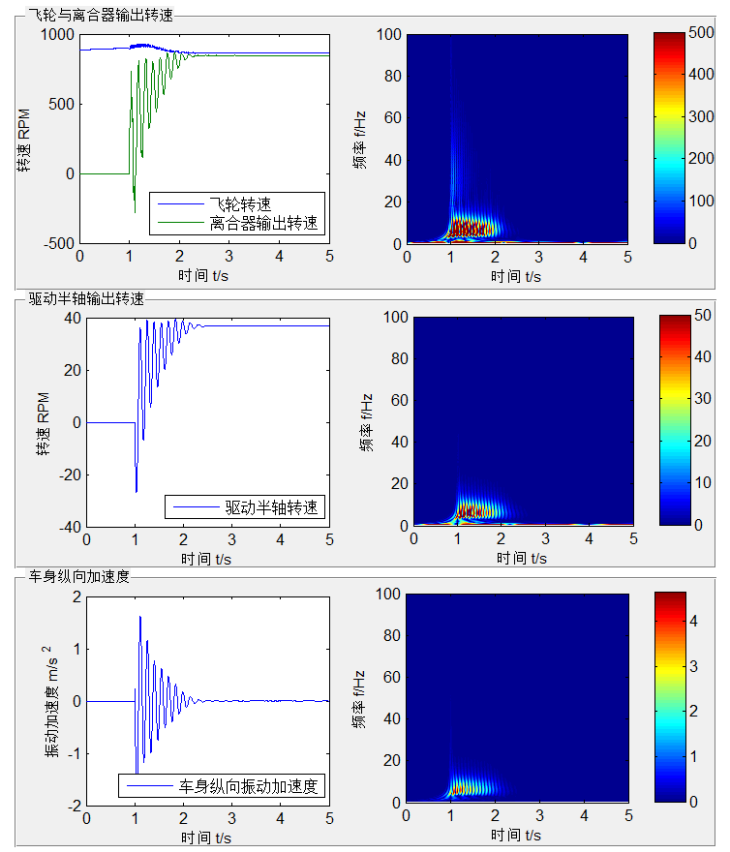


技术关注点: 1) 低频抖动评价指标; 2) 瞬态问题分析手段缺失。

车辆起步抖动分析软件

| | | | | | |
|------------------------|-------|-------------------|-----------------|--------|---------|
| J0-发动机活塞、曲柄连杆机构等效转动惯量 | 0.20 | kg*m ² | c4-变速箱输出轴阻尼 | 0.03 | Nms/rad |
| J1-飞轮和离合器压盘总成转动惯量 | 0.45 | kg*m ² | c5-传动轴阻尼 | 0.04 | Nms/rad |
| J2-离合器摩擦片、波形弹簧和减振盘转动惯量 | 0.015 | kg*m ² | c6-驱动半轴阻尼 | 0.1 | Nms/rad |
| J3-离合器从动盘转动惯量 | 0.02 | kg*m ² | c7-悬架阻尼(纵向) | 2000 | Nms/rad |
| J4-变速箱输入和中间轴转动惯量 | 0.21 | kg*m ² | F-离合器压盘压紧力 | 2160 | N |
| J5-变速箱输出轴转动惯量 | 0.11 | kg*m ² | m-簧上质量 | 1600 | kg |
| J6-传动轴和主减转动惯量 | 0.36 | kg*m ² | r-车轮半径 | 0.25 | m |
| J7-驱动半轴、差速器及簧下质量等效转动惯量 | 25 | kg*m ² | i0-变速器传动比 | 4.71 | -- |
| k1-曲轴与飞轮间扭转刚度 | 20000 | Nm/rad | Ri-离合器摩擦片内径 | 0.15 | m |
| k2-离合器两级扭转减振器的扭转刚度 | 1800 | Nm/rad | Ro-离合器摩擦片外径 | 0.22 | m |
| k3-变速箱输入轴及中间轴扭转刚度 | 22500 | Nm/rad | u0-离合器摩擦片静摩擦系数 | 0.228 | -- |
| k4-变速箱输出轴扭转刚度 | 32750 | Nm/rad | u1-离合器摩擦片摩擦系数梯度 | 0.0001 | -- |
| k5-传动轴扭转刚度 | 35750 | Nm/rad | z-摩擦片面积 | 2 | -- |
| k6-驱动半轴扭转刚度 | 13850 | Nm/rad | o-双曲正切摩擦模型平滑因子 | 0.5 | -- |
| k7-悬架刚度(纵向) | 21000 | Nm/rad | T1m-发动机输出平均扭矩 | 180 | Nm |
| c1-发动机曲轴阻尼 | 0.1 | Nms/rad | T1p-发动机输出波动力矩幅值 | 20 | Nm |
| c2-离合器扭转减振器阻尼 | 1 | Nms/rad | ig-主减传动比 | 4.875 | -- |
| c3-变速箱输入轴与中间轴阻尼 | 0.03 | Nms/rad | | | |

仿真分析 N2-idx 1.397 m/s² STD-idx 0.3873 E-idx 0.4422 (m/s²)²

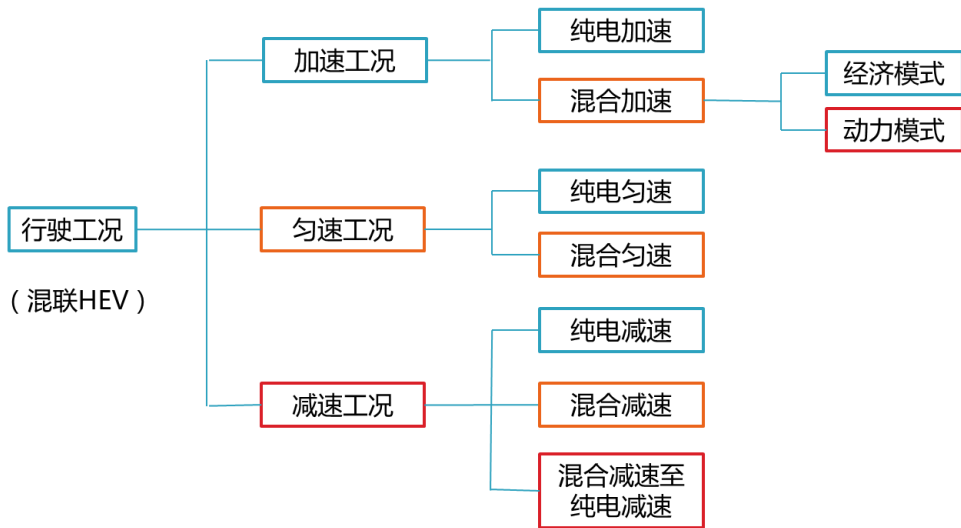


AERI专用开发软件

- 1 动力传动系NVH问题与特征
Powertrain NVH Issues and Characteristic
- 2 动力传动系NVH试验技术
Powertrain NVH Testing Technology
- 3 动力传动系NVH仿真技术
Powertrain NVH Simulation Technology
- 4 动力传动系NVH控制技术的发展趋势
Trend of Powertrain NVH Control Technology

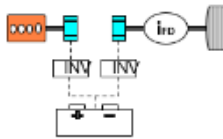
4.1 混动车型传动系NVH控制技术

- 多模式切换冲击
- 行星架齿轮系啸叫
- **控制策略**对NVH影响



混合动力汽车动力传动技术方案

串联式混合动力汽车



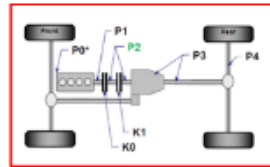
国际: BMW i3
Fisker Karma
国内: 一汽、上汽、北汽、长安、江淮

评价: 结构简单, 容易实现, 主要应用于商用车、城市公交等。



GETRAG 6HDT200 48V

并联式混合动力汽车



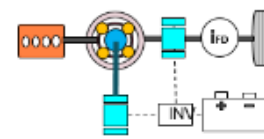
P0: BSG电机, 皮带轮传动
P1: ISG电机, 与发动机曲轴相连
P2: 电机置于变速箱输入端与离合器之间
P3: 电机置于变速箱输出端
P4: 电桥驱动

评价: 不同的并联结构各有特点, 根据企业的技术路线确定合适的开发方案。



ZF 8P70H

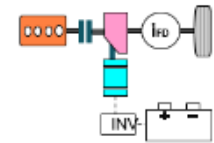
功率分流混合动力汽车



国际: Toyota Prius
AVL DynoShift
国内: 科力远CHS

评价: 结构复杂, 无换挡冲击, eCVT。

其他



国际: Mitsubishi Outlander
GETRAG 7HDT300
FEV 7HAMT
国内: 吉利7DCTH

评价: 各档都有混动模式, 但纯电动模式下换挡冲击。



Chevrolet Volt

4.2 纯电驱动传动系NVH控制技术

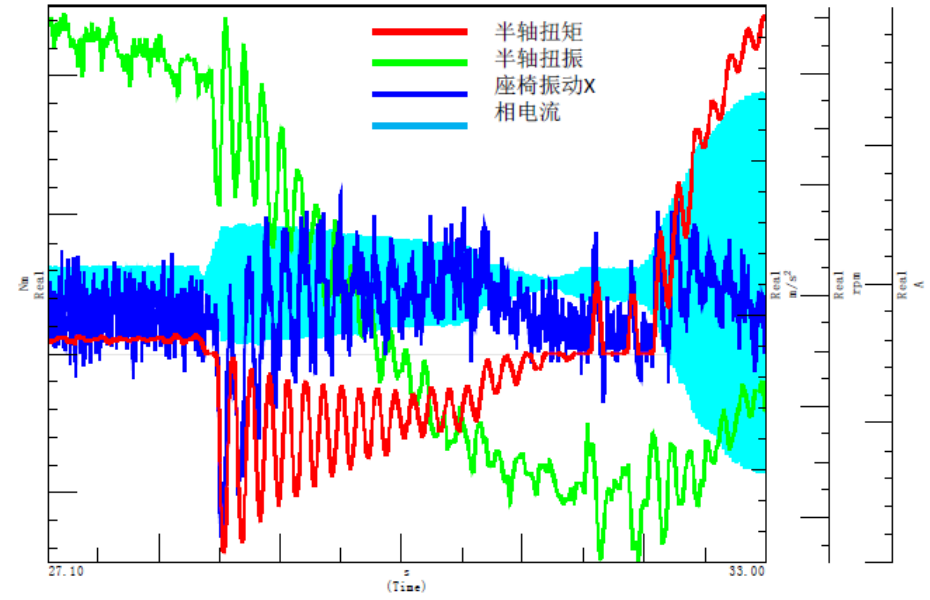
□ 传统电驱动总成

- 机械传动（高速化/一体化）
- **多参数同步**测试（标定信息）

□ 电驱动机械与电控耦合分析

4.3 智能汽车动力传动系NVH控制技术

□ 算法驾驶控制模式对NVH的影响



纯电驱动传动NVH测试



1. 新能源动力传动系NVH试验技术

- 应重视动力传动系NVH**台架试验**的重要性
- **早发现、早识别**动力传动系NVH问题
- **匹配标定**对于NVH性能影响突显

2. 新能源动力传动系NVH仿真技术

- 必须突破**系统级**NVH性能仿真
- 仿真分析方法及规范需要试验**对标验证**
- 动力传动系NVH仿真分析是建立正向开发能力的基础

3. 新能源动力传动系NVH控制技术发展趋势

- **多模式**控制策略增加了混动传动系NVH控制的复杂性
- 纯电驱车型应关注NVH相关**多物理参数**同步测试技术
- **智能驾驶模式**对于动力传动系NVH性能影响应予以重视



中国汽车工程学会

振动噪声分会

NVH Committee of SAE-China

第十六届汽车 NVH 控制技术国际研讨会征文



中国汽车技术研究中心·汽车工程研究院

AUTOMOTIVE ENGINEERING RESEARCH INSTITUTE

2019年5月

联系方式：王玉宁（13702063889）；aeri@catarc.ac.cn；论文投稿截止：2019年2月1日

“汽车 NVH 控制技术国际研讨会”本着服务行业，推动行业 NVH 技术进步及提升，每年邀请国外知名机构教授、专家，国内主机厂一线专家以及行业专家，利用分会平台进行交流。汽车 NVH 控制技术国际研讨会至今已经成功举办十五届，2018年在苏州举办的NVH控制技术国际研讨会突破500人。经过十余年的建设，会议邀请到众多国外技术专家为国内同行分享国际前沿技术，这对推动国内自主品牌技术的进步起到了重要作用。该会议已逐步发展成为行业内有一定影响力的 NVH 技术交流平台，成为一年一度的 NVH 工程师盛会。

征文主题（包括但不限于）

- 声品质分析与研究
- 整车和车身的NVH控制
- 进排气系统设计与开发
- 振动噪声CAE分析
- 车身阻尼处理
- 汽车NVH与疲劳

2019

创新 引领 NVH 未来

- 汽车NVH与安全
- 汽车NVH主动控制
- 汽车异响控制技术
- 新能源汽车NVH
- 汽车风噪分析和控制技术
- 汽车路噪分析和控制技术
- 整车NVH声学包开发

感谢聆听

Thanks

中国汽车技术研究中心 汽车工程研究院 第二开发部

电话：022-84379777转8108

手机：13388025675

邮箱：chendaliang@catarc.ac.cn

