

基于MBD的混联式混合动力系统起停控制策略 联合仿真研究

目 录

前言

CHS系统介绍

发动机启停联合仿真平台

基于仿真平台的控制策略研究

结论

目 录

前言

CHS系统介绍

发动机启停联合仿真平台

基于仿真平台的控制策略研究

结论

前言

燃油效率

法规要求/ 原油短缺

排放

减少 PM2.5/ 温室气体

汽车动力系统
发展趋势

传统动力总成系统

混合动力

插电式混合动力

纯电动

在混合动力车辆中，一个降低油耗和排放的主要方法就是尽量少的使用发动机，这就涉及到**发动机起-停过程比较频繁**。

这部分的振动与驾驶员的操作相对独立，因此，通常汽车行驶过程中的发动机起动会给驾驶者带来不安全感。

对于混联式混合动力汽车，通常用扭转减震器代替离合器，因此，发动机起停过程中扭振会通过传动系统传出给车身。

目 录

前言

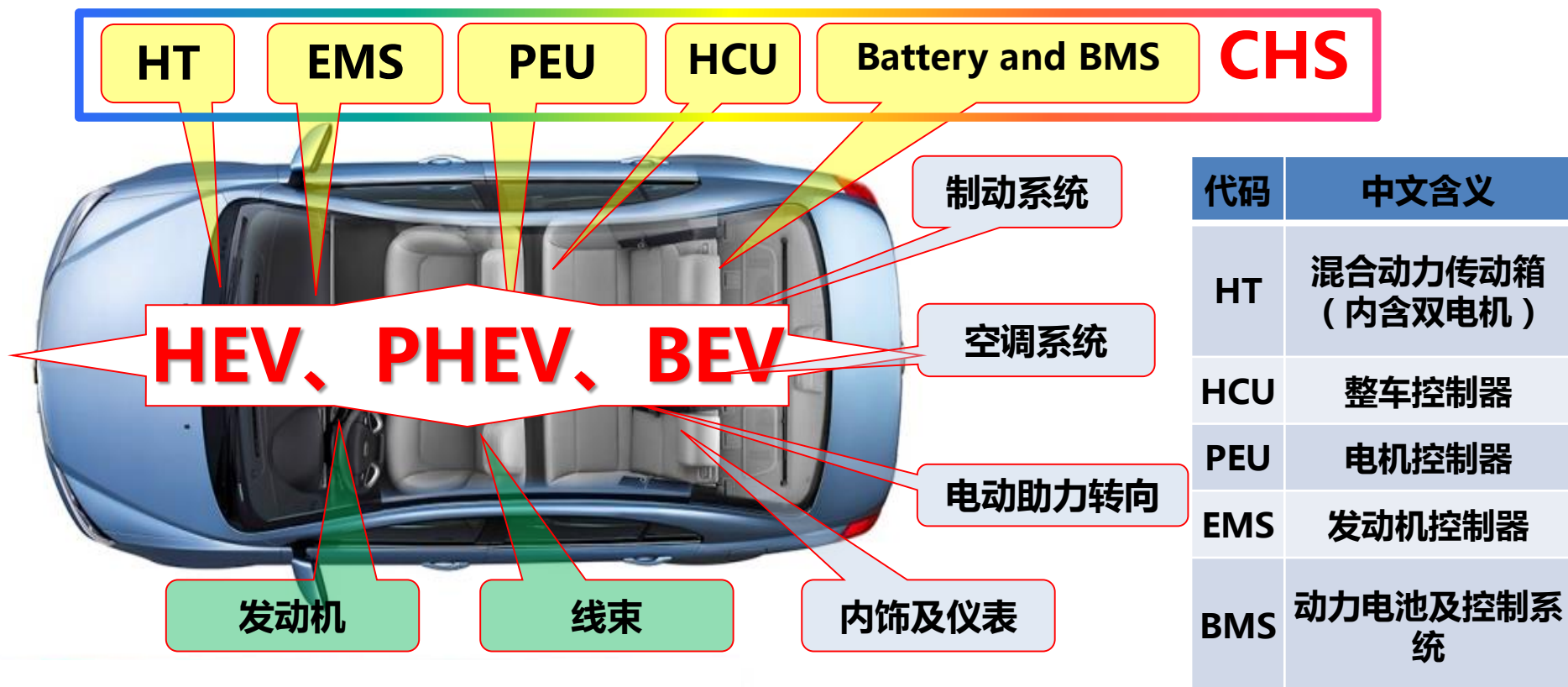
CHS系统介绍

发动机启停联合仿真平台

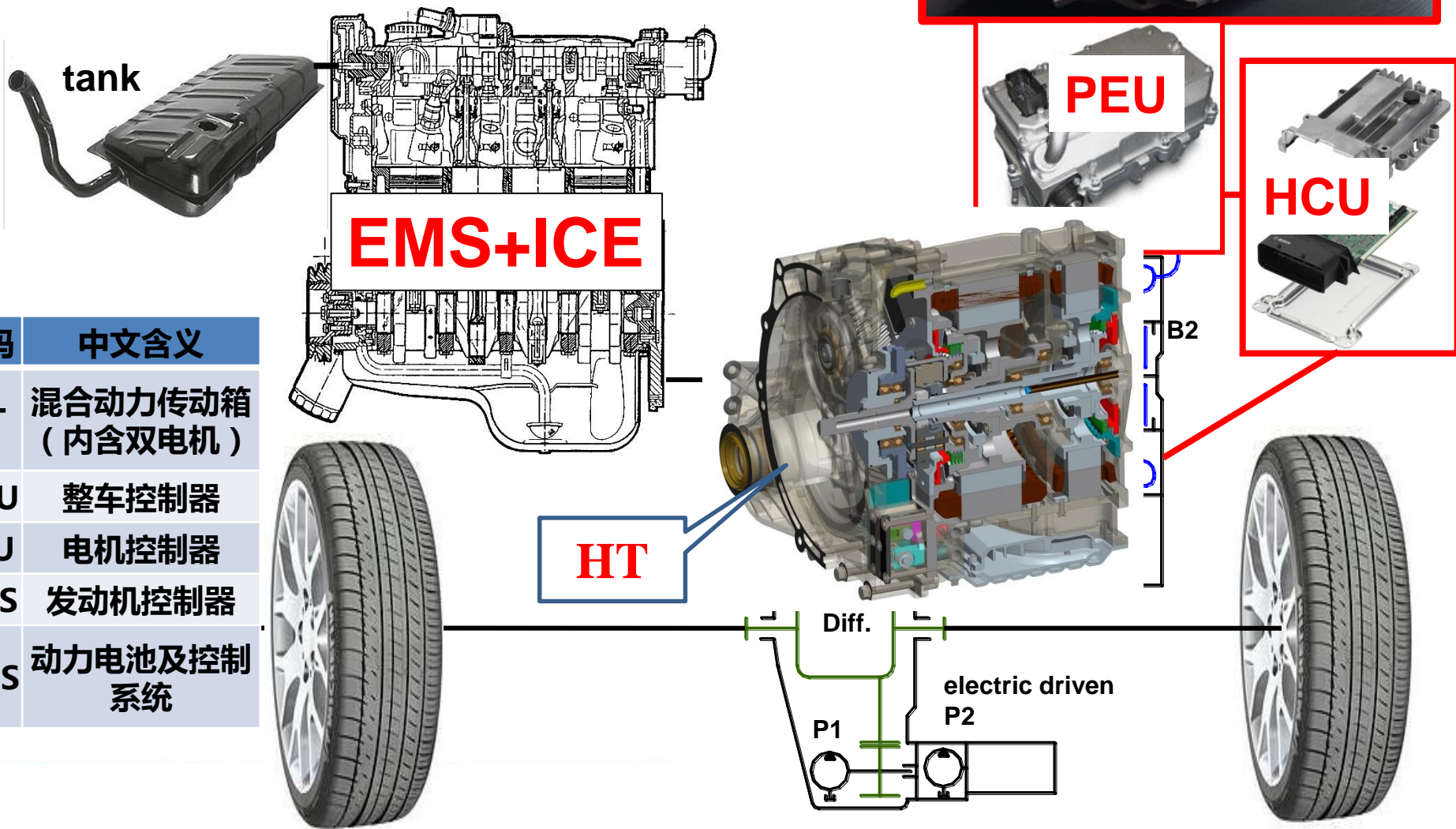
基于仿真平台的控制策略研究

结论

■ **CHS(Corun Hybrid System)**是新一代混合动力、插电式混合动力汽车以及纯电驱动汽车动力系统**整体解决方案**，其主要由电驱动变速系统、整车多能源管理系统、电机及其控制系统、电池及管理系统等组成。

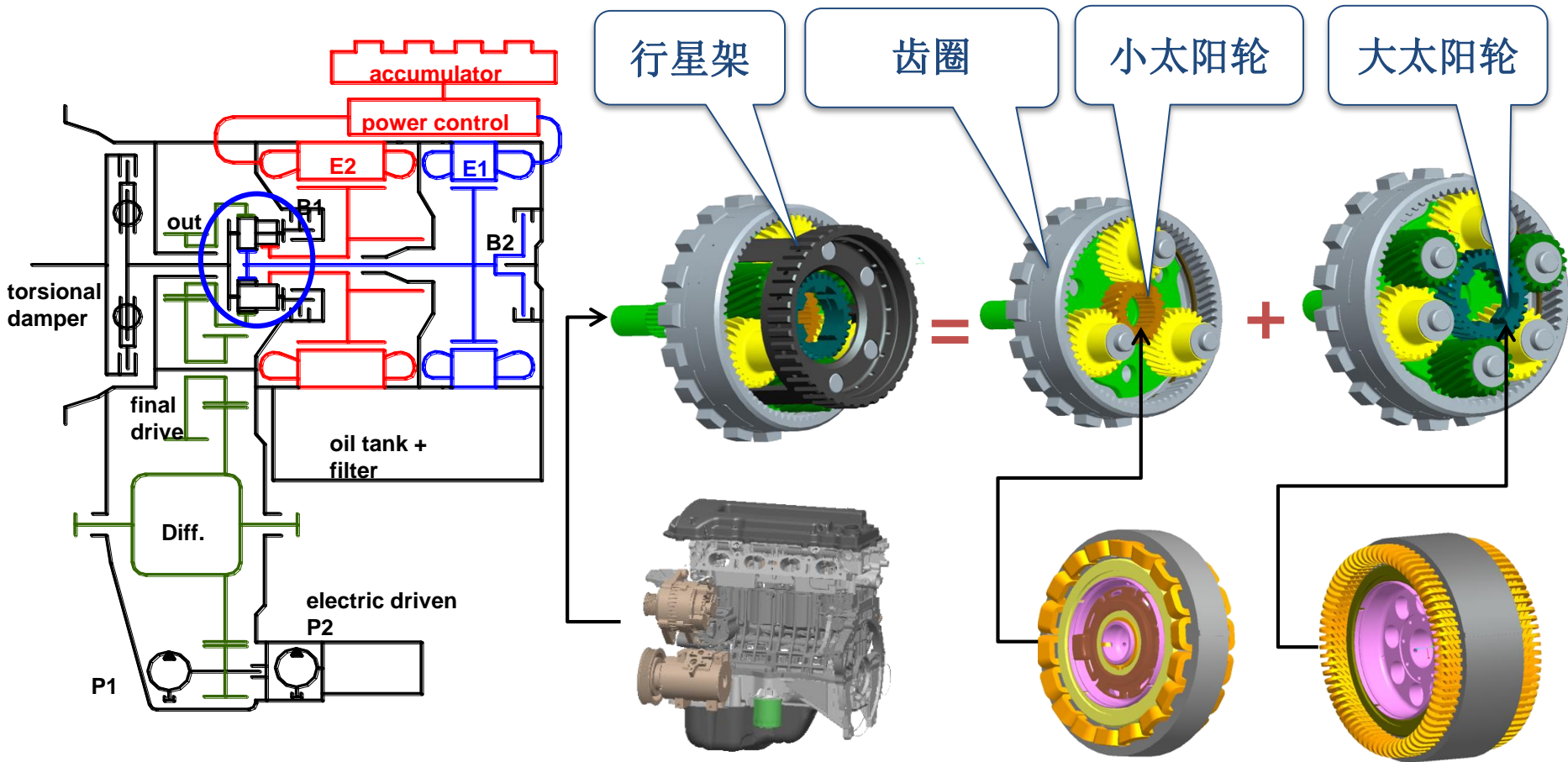


系统介绍



代码	中文含义
HT	混合动力传动箱 (内含双电机)
HCU	整车控制器
PEU	电机控制器
EMS	发动机控制器
BMS	动力电池及控制系统

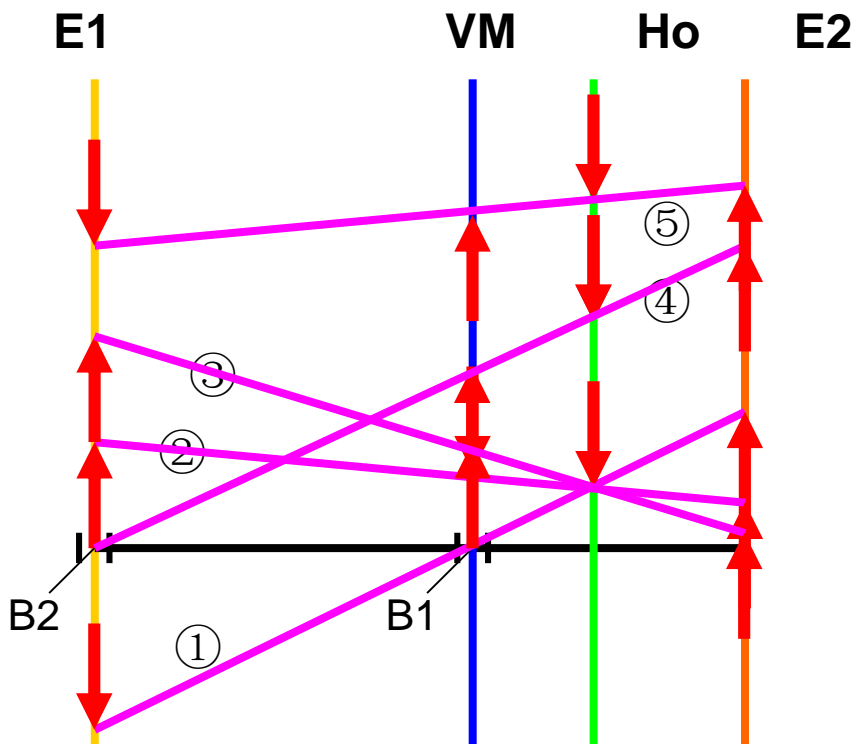
■ CHS 功率分流式混合动力总成系统



■ 工作原理

- 1、纯电动工况
- 2、发动机启动
- 3、加速
- 4、中速
- 5、高速

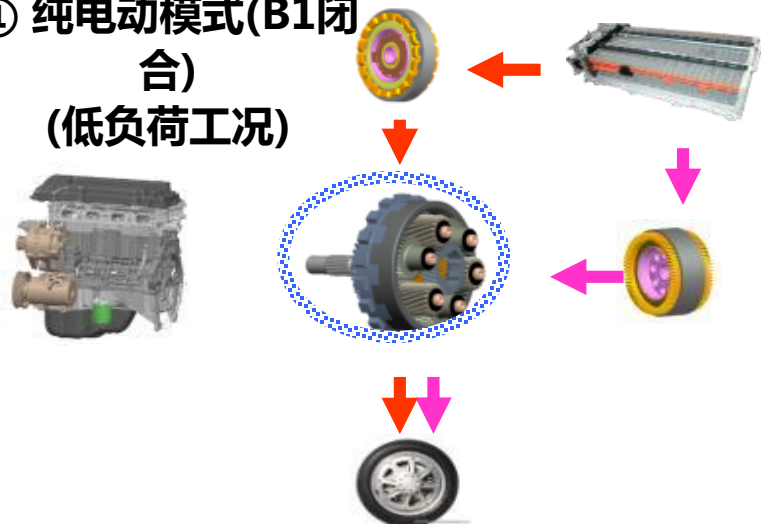
CHS 4轴



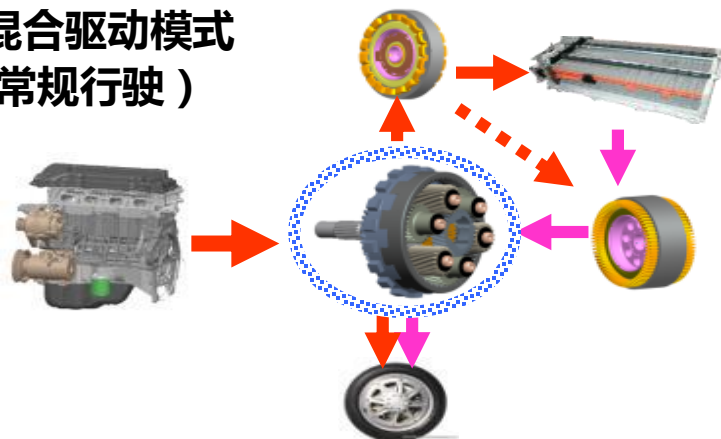
系统介绍

■ CHS典型工作模式

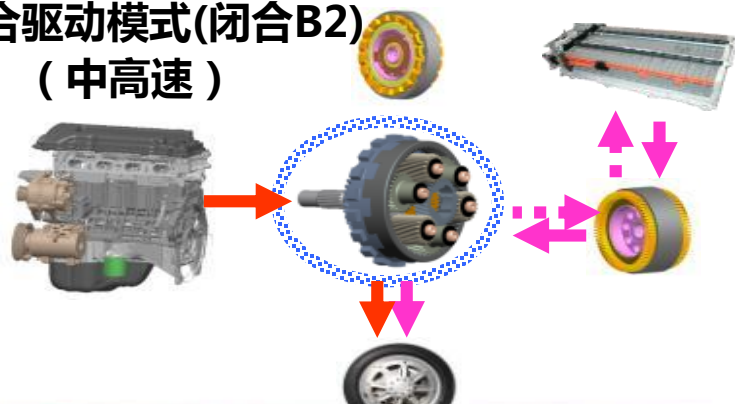
① 纯电动模式(B1闭合)
(低负荷工况)



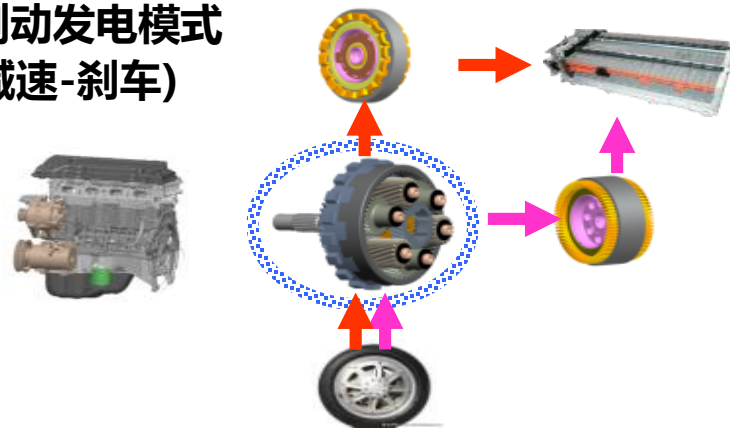
② 混合驱动模式
(常规行驶)



③ 混合驱动模式(闭合B2)
(中高速)



④ 制动发电模式
(减速-刹车)



■ CHS系统特点

- ✦ 具有完全自主知识产权：
 - 拥有4项国际发明专利（覆盖欧、美、日等主要发达国家）
 - 32项国内专利
- ✦ 是丰田THS、通用双模技术之外的第三种功率分流系统：单模输入、复合动力分流系统。
- ✦ 系统复杂程度、研发难度、成本介于二者之间，实现了成本、效率和结构复杂性的更好平衡。
- ✦ 系统核心是一套电子控制的无级变速箱（E-CVT），采用行星排机构的主流混联系统，符合混合动力发展的趋势；
- ✦ 提供更大的控制自由度，使中低速工况具有更佳效率；
- ✦ 更高的系统经济性及可靠性，结构方案更加紧凑



目 录

前言

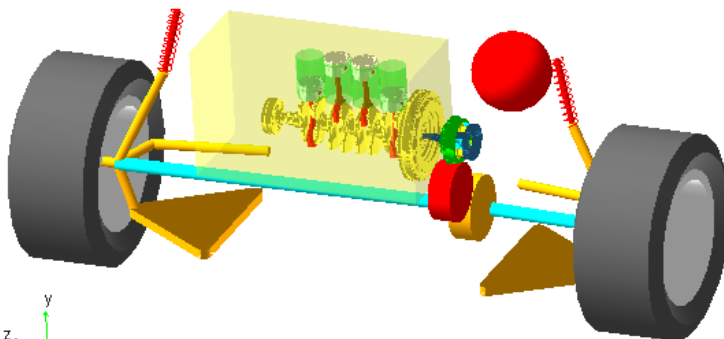
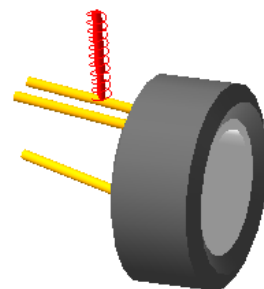
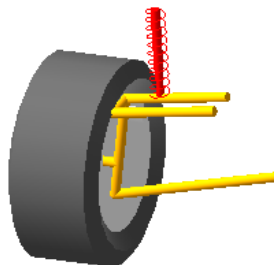
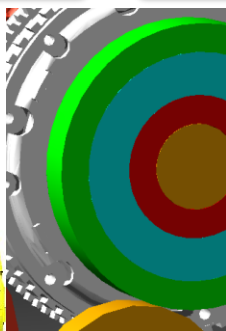
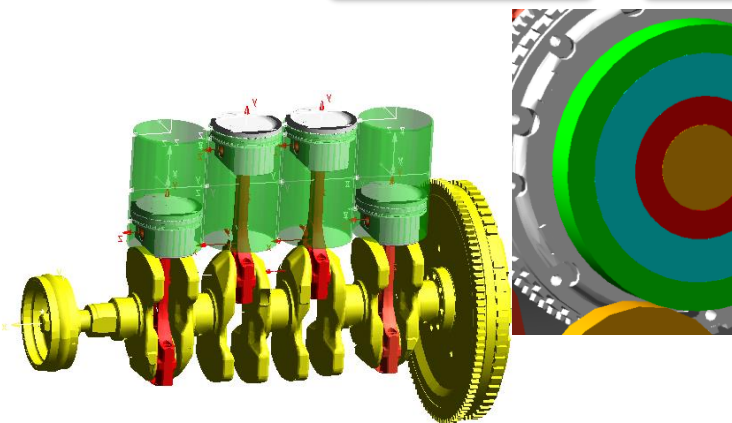
技术方案介绍

发动机启停联合仿真平台

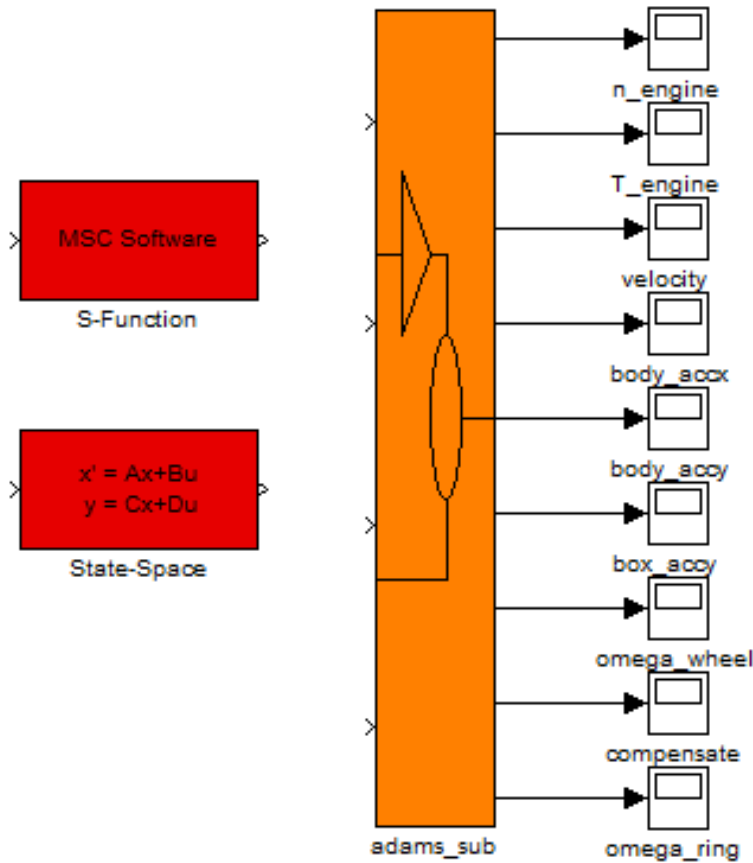
基于仿真平台的控制策略研究

结论

■ 动力学模型



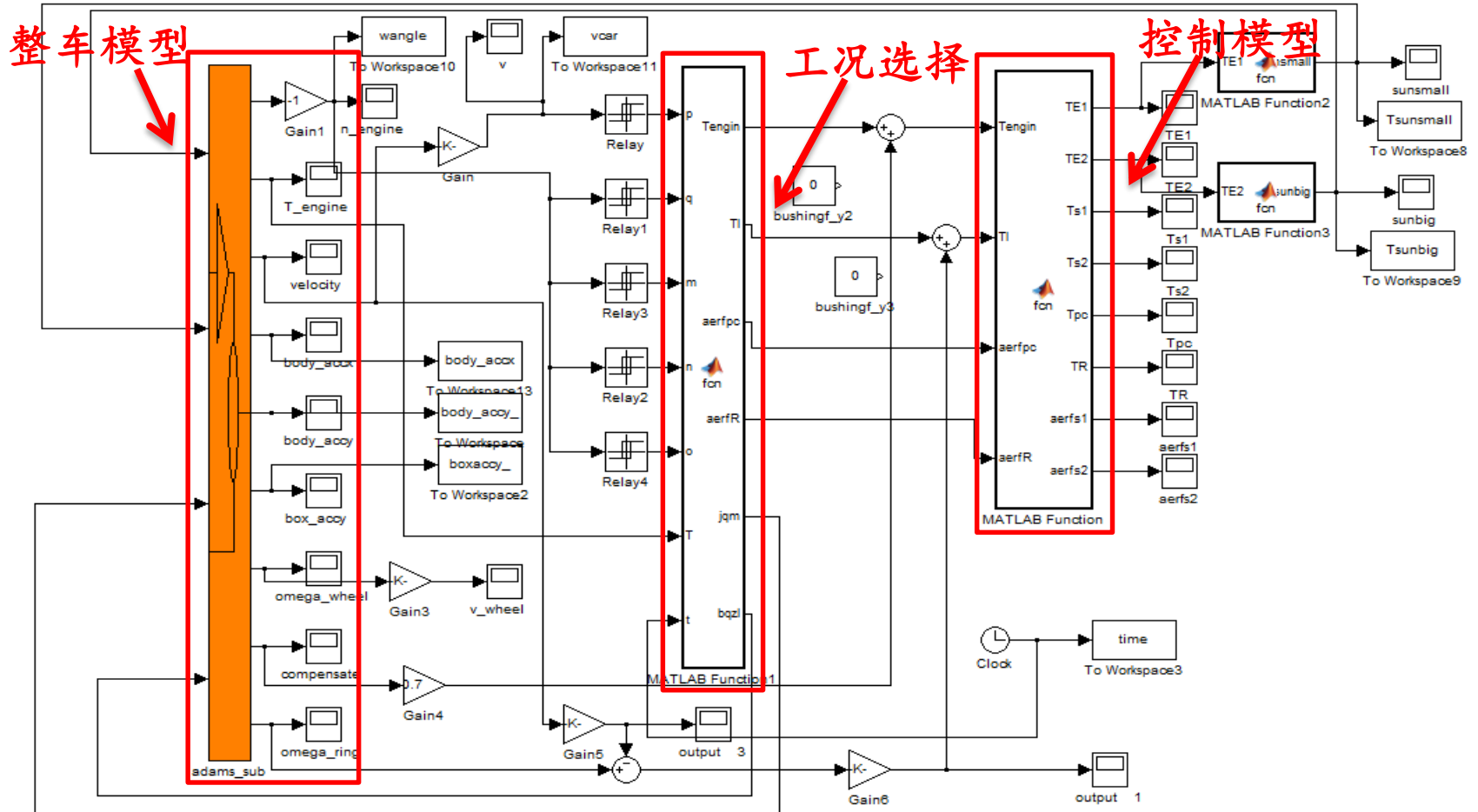
■ 接口生成



在多体动力学软件建立状态变量，作为两者的交互接口。然后生成相应的 Simulink 模块——动力学模型S函数。

发动机启停联合仿真平台

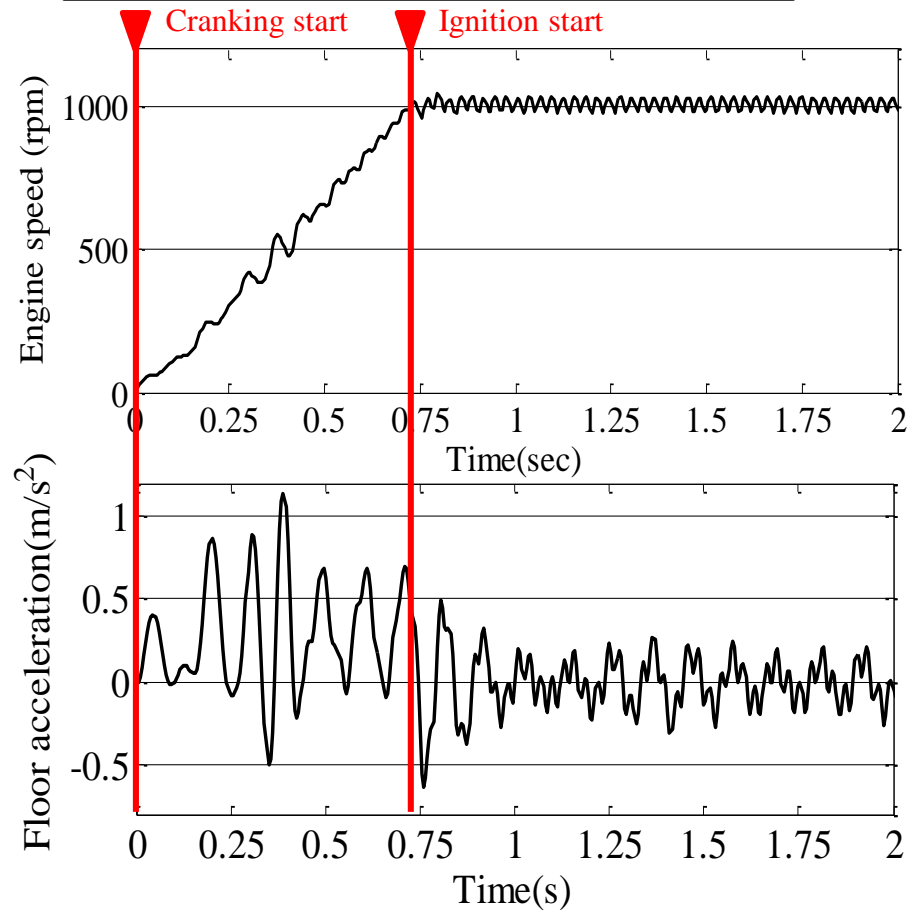
完整平台：加上控制策略，得到完整平台



■ 联合仿真结果：启动阶段

发动机启动过程中整车纵向加速度抖动幅值最大可达到 1.2m/s^2 ，对乘坐舒适性影响较大；在进入怠速稳定后加速度抖动幅值小了很多，基本都在 0.3m/s^2 范围内，认为可以接受。

发动机启动至怠速工况仿真结果

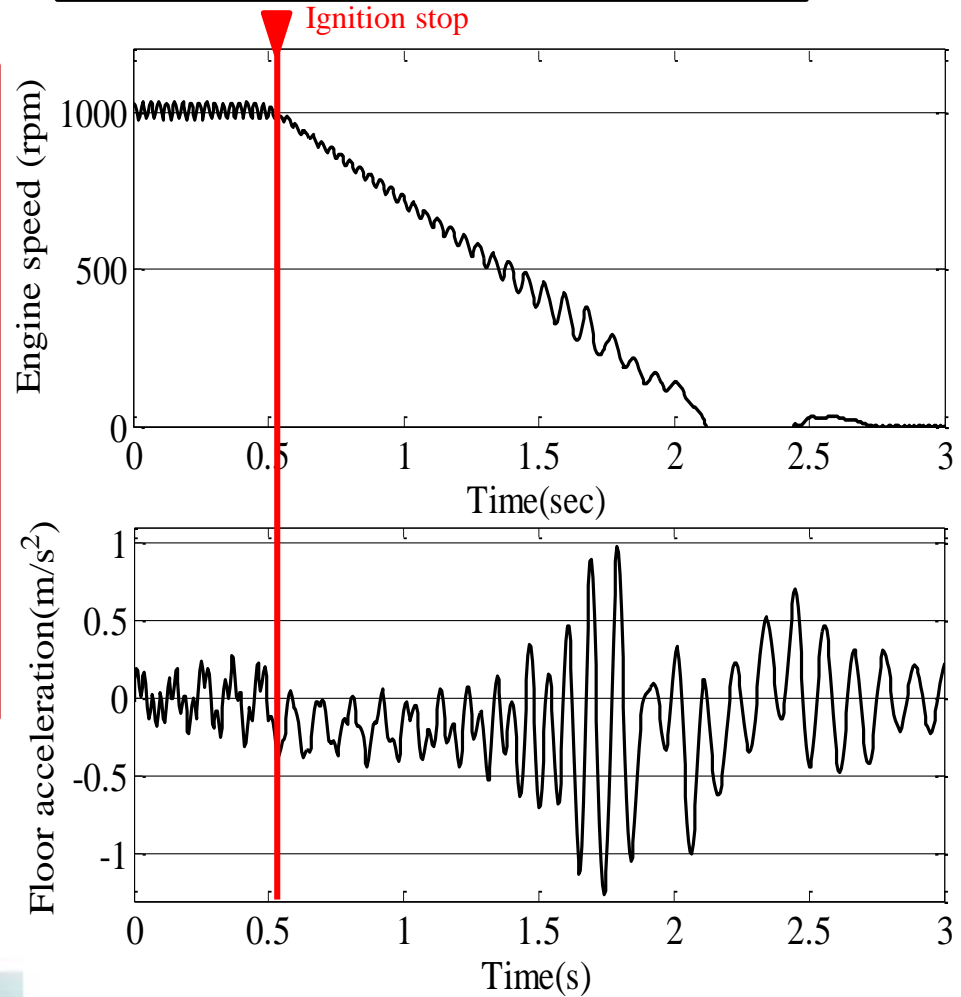


■ 联合仿真结果：停机阶段

发动机停机过程整车纵向加速度抖动幅值也很大，最高达到了 1.3m/s^2 ，影响了乘坐舒适性。

另外，抖动的最大值发生在发动机转速为 400rpm 左右。

发动机怠速至停机工况仿真结果



目 录

前言

技术方案介绍

发动机启停联合仿真平台

基于仿真平台的控制策略研究

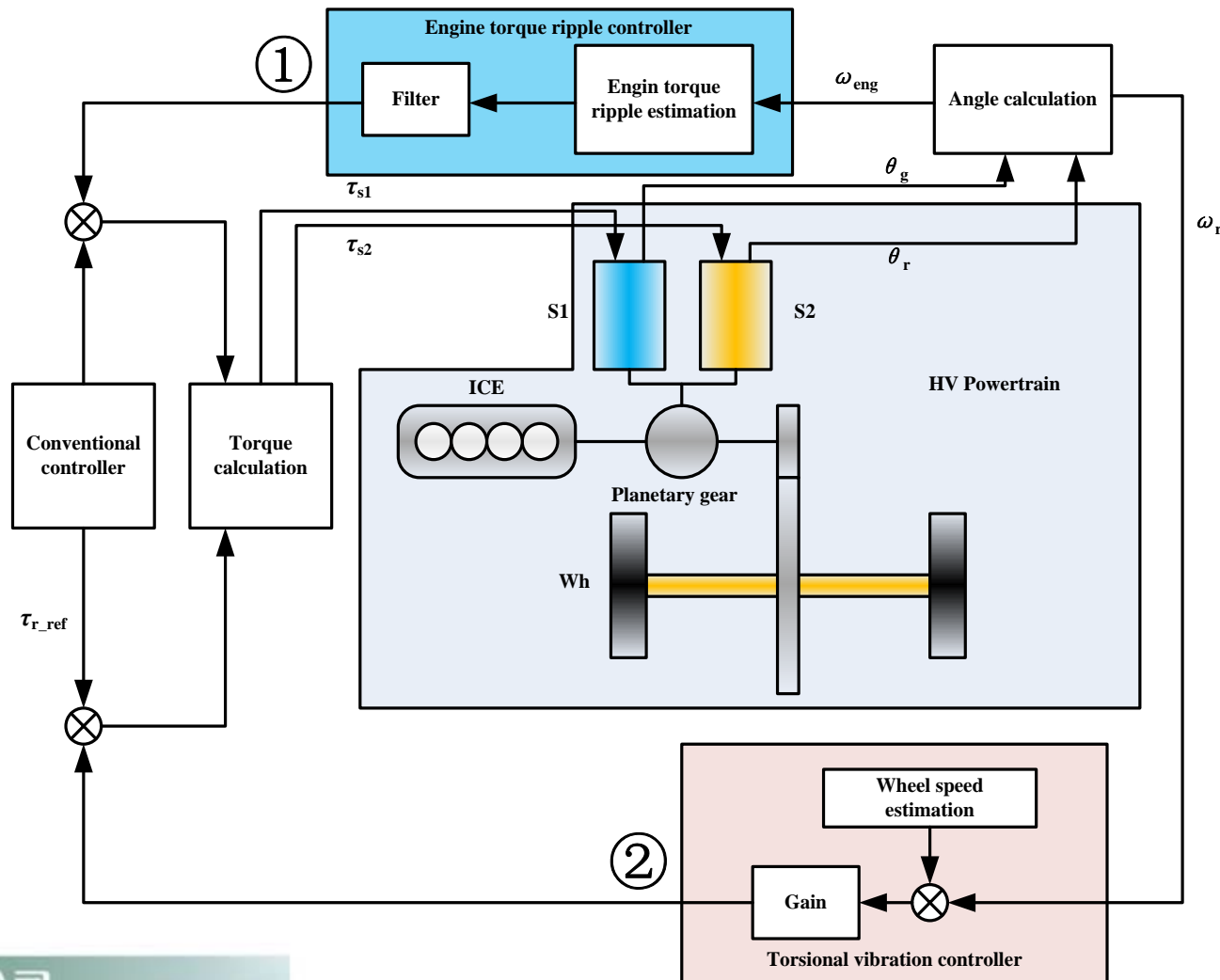
结论

基于仿真平台的控制策略研究

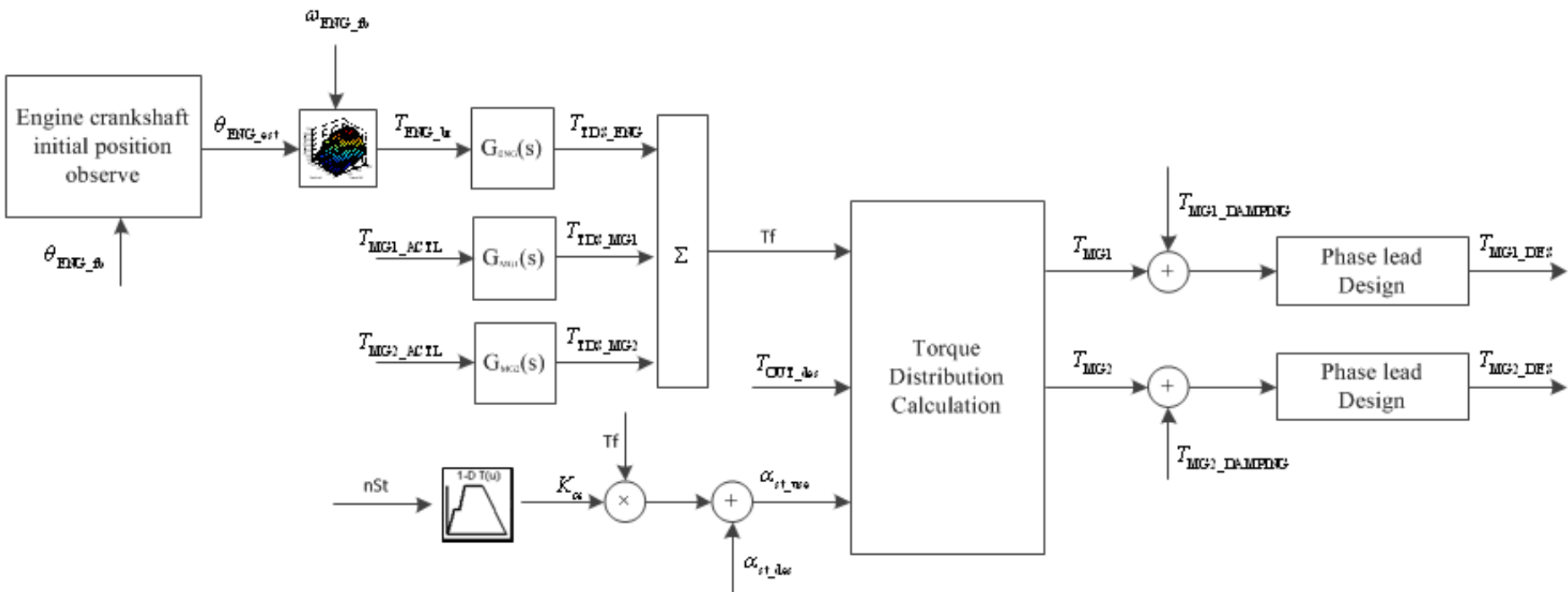
■ 控制系统结构图

① 扭矩补偿控制器

② 传动系统扭振控制器



基于仿真平台的控制策略研究



■ 发动机不平衡扭矩补偿

发动机的扭矩包括稳定部分 T_{E_count} 和波动部分: $T_{Engin} = T_{E_count} + \Delta T_E$

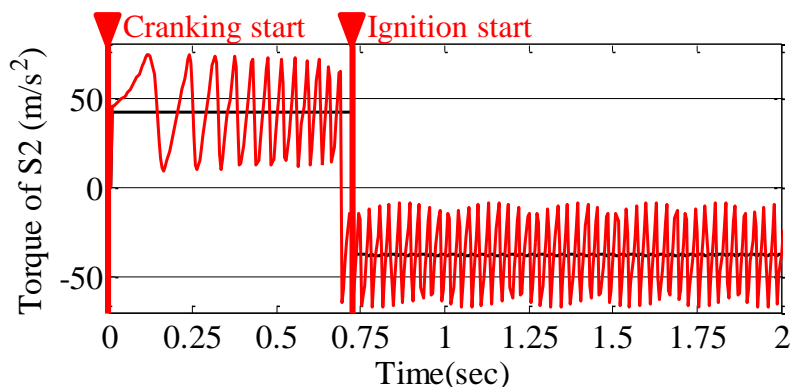
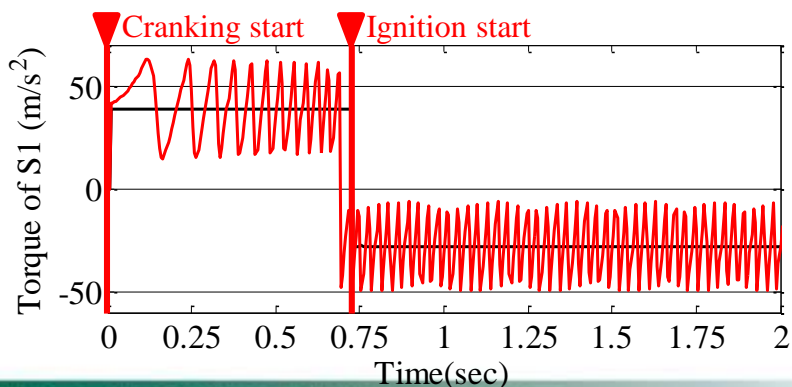
电机的扭矩包括参考扭矩和补偿扭矩: $T_{E1} = T_{E1_ref} + \Delta T_{E1}$ $T_{E2} = T_{E2_ref} + \Delta T_{E2}$

经计算, 可得:

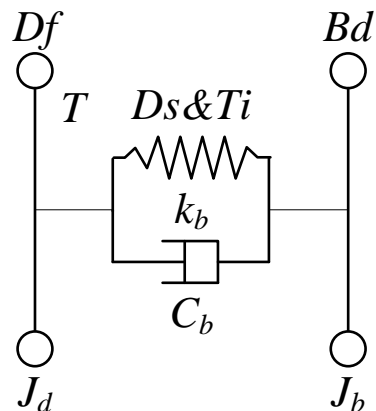
$$\Delta T_{E1} = \frac{i_{01}}{i_{01} - i_{02}} \Delta T_E + \frac{1 - i_{02}}{i_{01} - i_{02}} T_R + \left(\frac{1 - i_{02}}{i_{01} - i_{02}} J_R + i_{01} J_{s1} \right) \alpha_R + \left[\frac{i_{02}}{i_{02} - i_{01}} J_{pc} + (1 - i_{01}) J_{s1} \right] \alpha_{pc}$$

$$\Delta T_{E2} = -\frac{i_{01}}{i_{01} - i_{02}} \Delta T_E - \frac{1 - i_{01}}{i_{01} - i_{02}} T_R + \left(i_{02} J_{s2} - \frac{1 - i_{01}}{i_{01} - i_{02}} J_R \right) \alpha_R + \left[\frac{i_{01}}{i_{01} - i_{02}} J_{pc} + (1 - i_{02}) J_{s2} \right] \alpha_{pc}$$

发动机起动阶段电机对发动机不平衡扭矩补偿前后电机扭矩大小:



■ 传动系统扭振控制



两质量模型运动方程：

$$\left. \begin{aligned} J_d \frac{d^2\theta_d}{dt^2} + c_b(\dot{\theta}_d - \dot{\theta}_b) + k_b(\theta_d - \theta_b) &= T \\ J_b \frac{d^2\theta_b}{dt^2} - c_b(\dot{\theta}_d - \dot{\theta}_b) - k_b(\theta_d - \theta_b) &= 0 \end{aligned} \right\}$$

系统状态变量：

$$x_1 = \dot{\theta}_d \quad x_2 = \dot{\theta}_b \quad x_3 = \theta_d - \theta_b$$

系统状态空间表达式：

$$\dot{x} = Ax + BT$$

其中：

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{c_b}{J_d} & \frac{c_b}{J_d} & -\frac{k_b}{J_d} \\ \frac{c_b}{J_b} & -\frac{c_b}{J_b} & \frac{k_b}{J_b} \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T$$

作为一个单输入系统，输入变量为差速器上的输入扭矩，输入变量 T 能否对系统实现完全控制，使其任意的由一个状态到另一个状态，需要判定系统的能控性。

基于仿真平台的控制策略研究

系统能空性判别矩阵： $M = \begin{bmatrix} B & AB & A^2B \end{bmatrix}$

经过计算得到： $\text{rank}M = \text{rank} \begin{bmatrix} B & AB & A^2B \end{bmatrix} = 3$

系统完全能控

设系统的输出变量为： $y = \dot{\theta}_d$

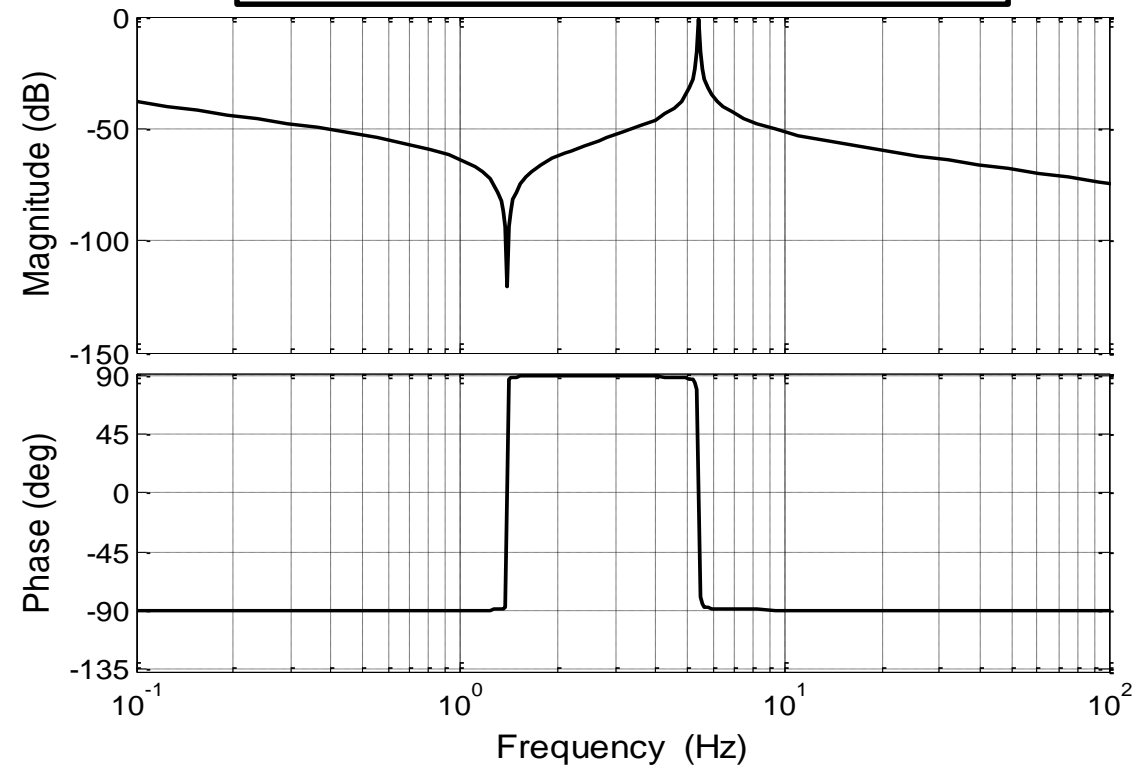
即： $y = Cx$ 其中， $C = [1 \ 0 \ 0]$

经过拉普拉斯变换，得到：

$$G(s) = C(SI - A)^{-1}B = \frac{\frac{s^2}{J_d} + \frac{c_b}{J_d J_b} s + \frac{k_b}{J_d J_b}}{s(s^2 + c_b(\frac{1}{J_d} + \frac{1}{J_b})s + k_b(\frac{1}{J_d} + \frac{1}{J_b}))}$$

基于仿真平台的控制策略研究

差速器上扭矩到转速的传递函数伯德图



在频率为**5.438Hz**的激振频率时，达到了**差速器及车身的共振频率**，因此其振动产生了一个峰值。

通常，阻尼增大可以降低系统的共振峰值，然而本系统中连接差速器和车身的半轴很难增大阻尼，**考虑通过电机的扭矩达到阻尼控制的目的。**



引入反馈量：

$$\Delta T = f(\dot{\theta}_d - \dot{\theta}_b)$$

基于仿真平台的控制策略研究

经过反馈的输入变量为：

$$T' = T - \Delta T = T - f(\dot{\theta}_R - \dot{\theta}_b)$$

闭环的状态方程为：

$$\dot{x} = A'x + BT$$

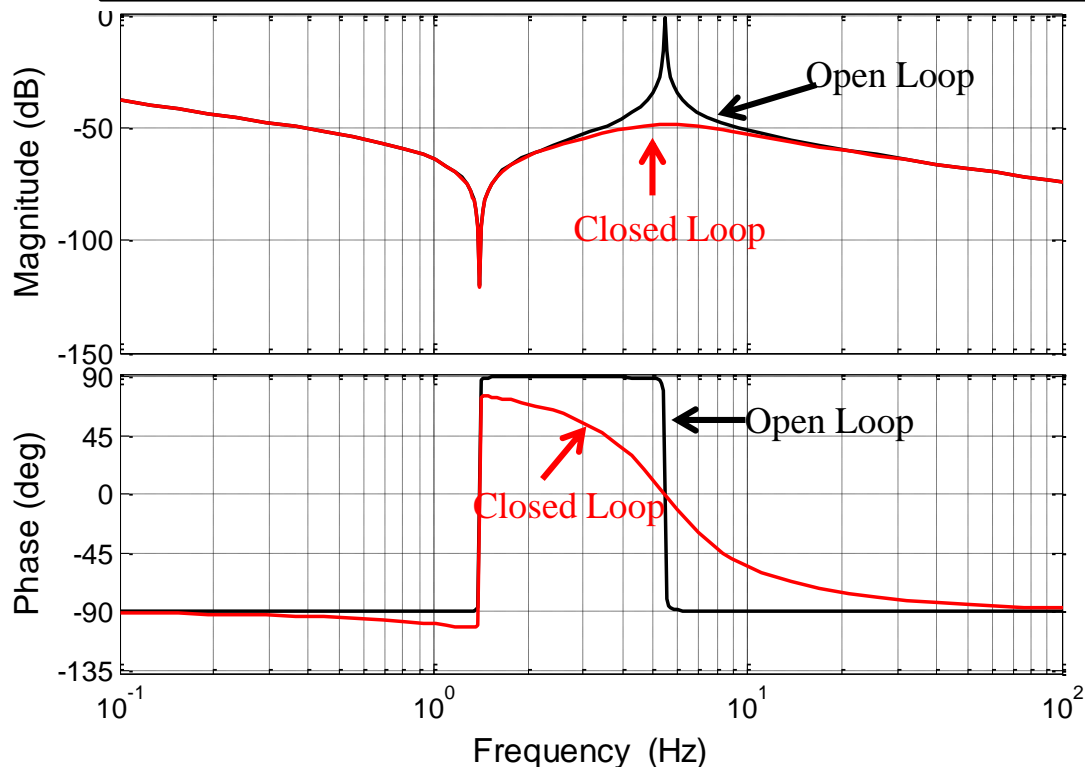
闭环的状态方程为：

$$A' = \begin{bmatrix} -\frac{c_b}{J_d} - \frac{f}{J_d} & \frac{c_b}{J_d} + \frac{f}{J_d} & -\frac{k_b}{J_d} \\ \frac{c_b}{J_b} & -\frac{c_b}{J_b} & \frac{k_b}{J_b} \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

闭环传递函数：

$$G'(s) = \frac{\frac{s^2}{J_d} + \frac{c_b}{J_d J_b} s + \frac{k_b}{J_d J_b}}{s(s^2 + c_b(\frac{1}{J_d} + \frac{1}{J_b} + \frac{f}{J_d})s + k_b(\frac{1}{J_d} + \frac{1}{J_b}))}$$

经过反馈的差速器上扭矩到转速的传递函数伯德图



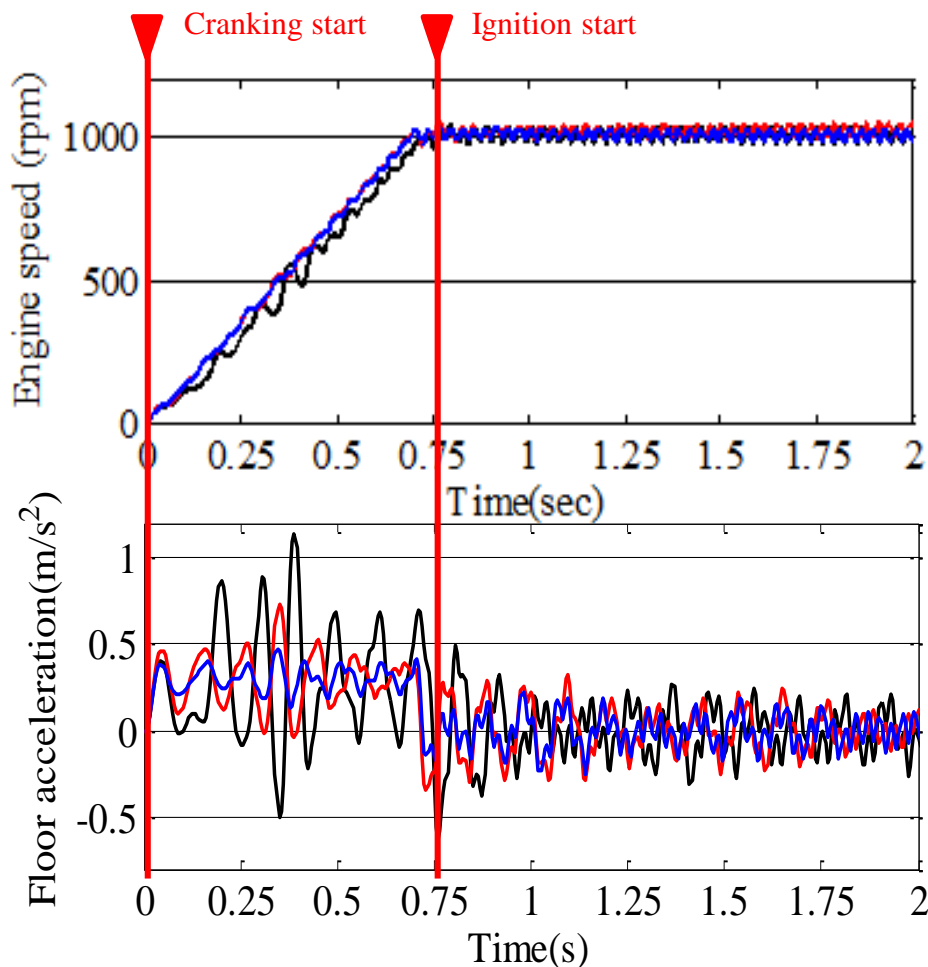
在激振频率为 **5.438Hz** 时，经过反馈的闭环系统共振峰值明显降低，随增益 f 的增大而降低。

基于仿真平台的控制策略研究

■ 控制策略验证

经过发动机不平衡扭矩补偿和扭转振动闭环控制的发动机起动过程中整车纵向加速度抖动幅值最大值在 0.4m/s^2 以下，仅为未加控制的30%左右，认为可以接受。

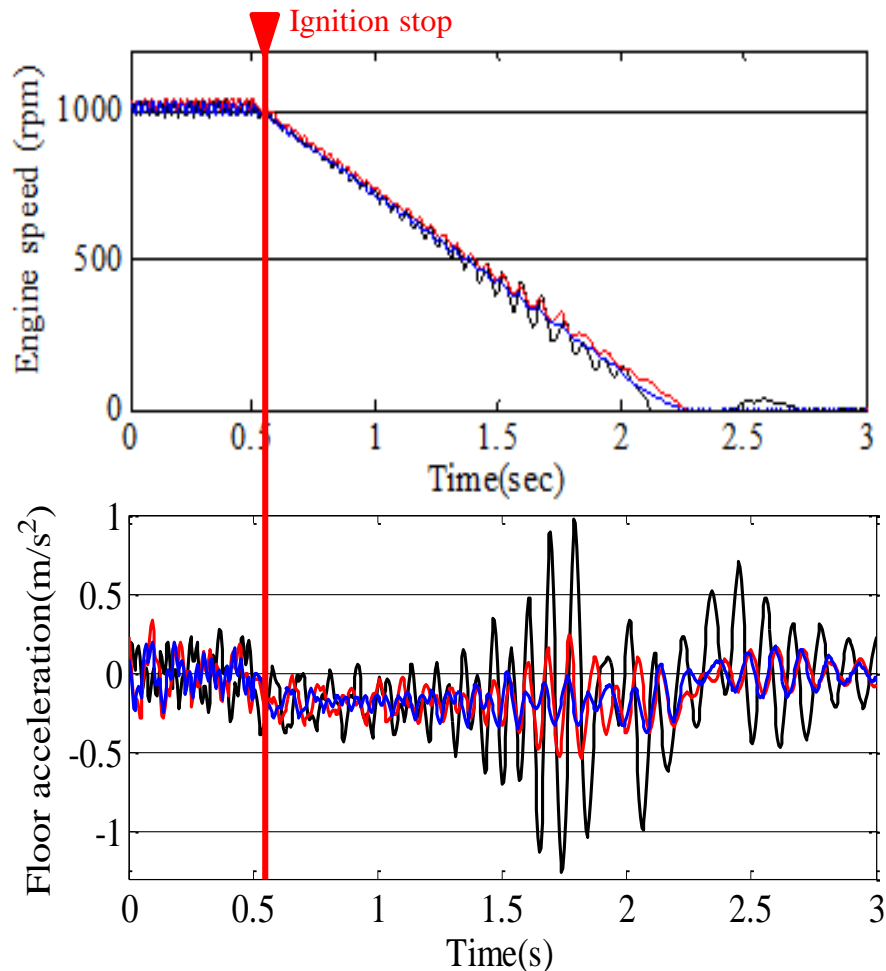
发动机起动至怠速工况闭环仿真



■ 控制策略验证

经过发动机不平衡扭矩补偿和扭转振动闭环控制的发动机停机过程中整车纵向加速度抖动幅值最大值在 0.3m/s^2 以下，仅为未加控制的20%左右，认为可以接受。

发动机怠速至停机工况闭环仿真



目 录

前言

技术方案介绍

发动机启停联合仿真平台

基于仿真平台的控制策略研究

结论

结论

(1)以动力学建模的形式建立了包括发动机、传动系统、动力总成悬置、整车悬架四个模块的整车模型。并通过ADAMS/VIEW与MATLAB/SIMULINK进行联合仿真，建立了混合动力轿车虚拟样机。

(2)对混合动力轿车的传动系统进行建模分析，并针对低频固有频率合理的简化了传动系统，建立了三质量以及两质量模型，为扭振控制提供了依据。

(3)通过对双排行星轮系的分析，协调控制大、小电机的扭矩，对传动系统进行扭矩补偿控制，达到了降低发动机起停过程中的振动的效果。

结论：通过大、小电机的扭矩协调控制，可以有效的抑制混联式混合动力汽车发动机起、停过程中的振动问题。

 **Thanks**