

# 双电机混动建模与仿真

## Dual Motor DHT Modeling and Simulation

朱黎明

2021-10-18

# 双电机混动建模与仿真

---

1. 开发背景
2. 双电机混动能耗建模仿真
3. 双电机混动系统性能分析
4. 问题分析与解决
5. 仿真开发流程与收益

# 1. 开发背景

- 新开发的双电机 DHT 混动变速箱，需要设定合理的开发目标，控制约束边界，系统最优匹配；
- 重点是实现工作模式的实时最优切换，发现潜在的改进的机会和方向，最终实现 DHT 混动系统的控制和优化；
- 如何迅速高效的建模和仿真成为了最关键的问题；

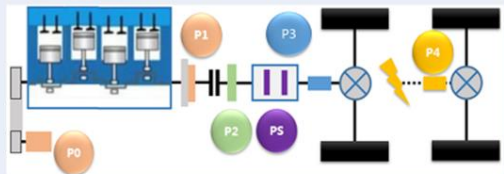

	单电机架构				双电机架构		
技术方案	发动机+DCT/AT_CVT+单电机				混动专用发动机DHE+双电机DHT		
技术架构							
应用厂商	<b>P0</b> 美系/德系/现代/吉利/长城	<b>P2</b> 德系/吉利/北汽	<b>P3</b> 比亚迪/上汽	<b>P4</b> 宝马/长城, 多配合其他机构使用	<b>功率分流</b> 通用/丰田/福特	<b>串并联</b> 本田/长城/比亚迪/上汽/广汽/东风	<b>串联</b> 日产/e-Power/东风
特点	动力性提升5%-30%，节油率5%-25%，控制较复杂				节油率提升20-40%，动力性提升10%-20%，控制复杂		

图1 混动技术方案

## 2. 如何建立混动能耗仿真平台?

### 仿真工具选择

#### — 开发工具

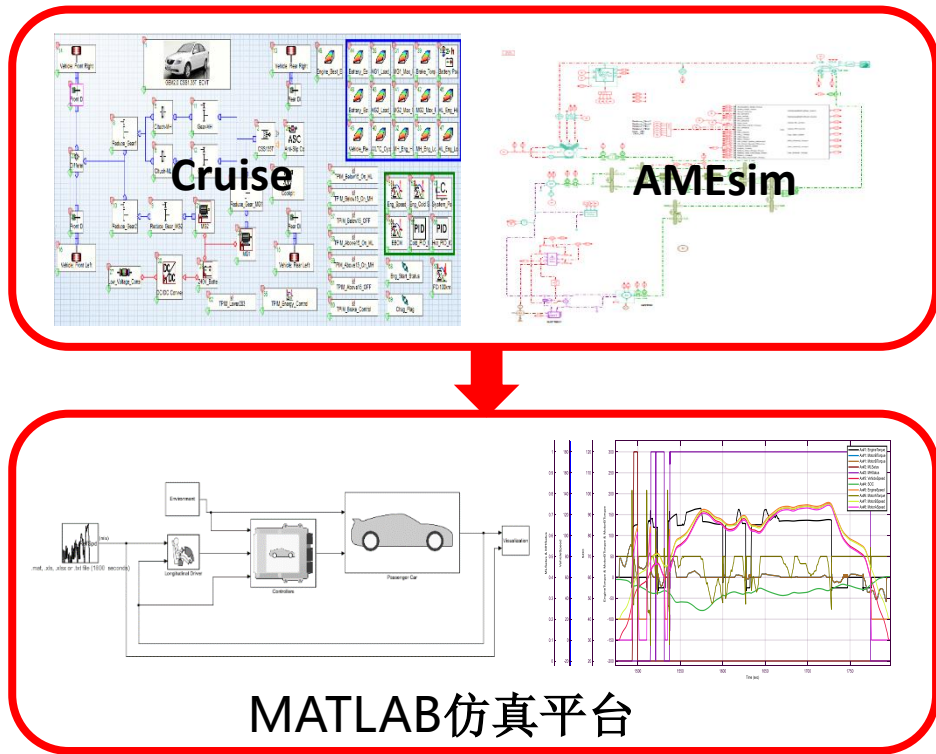
MATLAB /AMESim/Cruise;

#### — 比较分析

控制精度\仿真效率\拓展性;

#### — 开发定义

MATLAB 可以高效开发混动仿真平台。

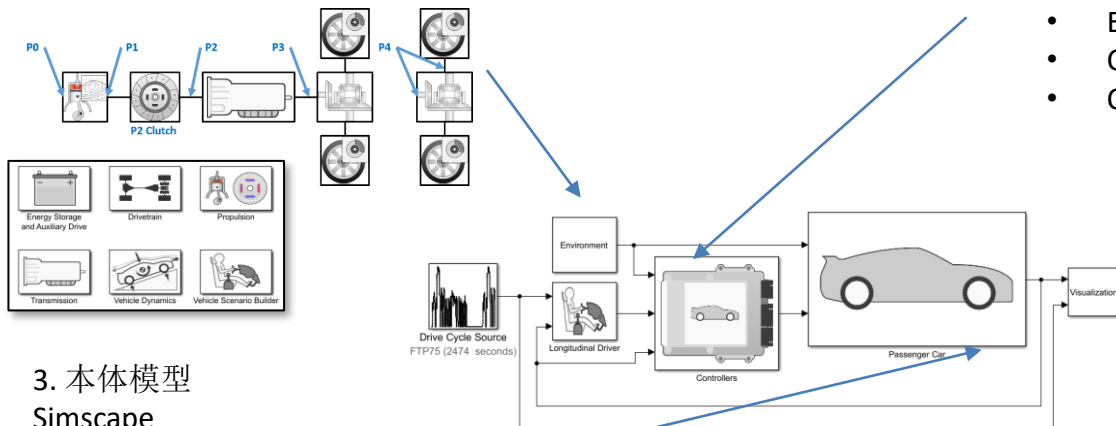


## 2. 如何建立混动能耗仿真平台?

### 1. 整车模型架构

Powertrain Blockset: Reference Application

- HEV: P0, P1, P2, P3, P4

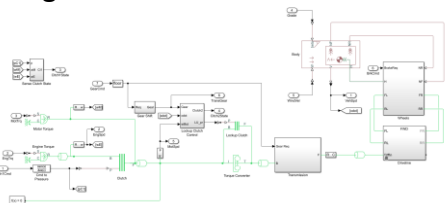
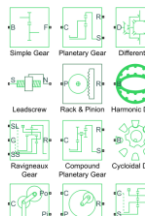


### 3. 本体模型

Simscape

Simscape Driveline

- Drivetrain model
- Thermal management

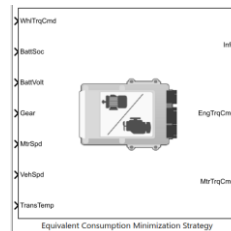


### 2. 控制模型:

MATLAB/Simulink/Stateflow

Powertrain Blockset

- ECMS
- Controllers(HCU/ECU/TCU)
- Customize Controllers



### 4. 模型参数化、控制参数调优

Model-Based Calibration Toolbox

Simulink Design Optimization Toolbox

- Parameterize
- Control parameter tuning

### 5. 创建UI, 报告生成

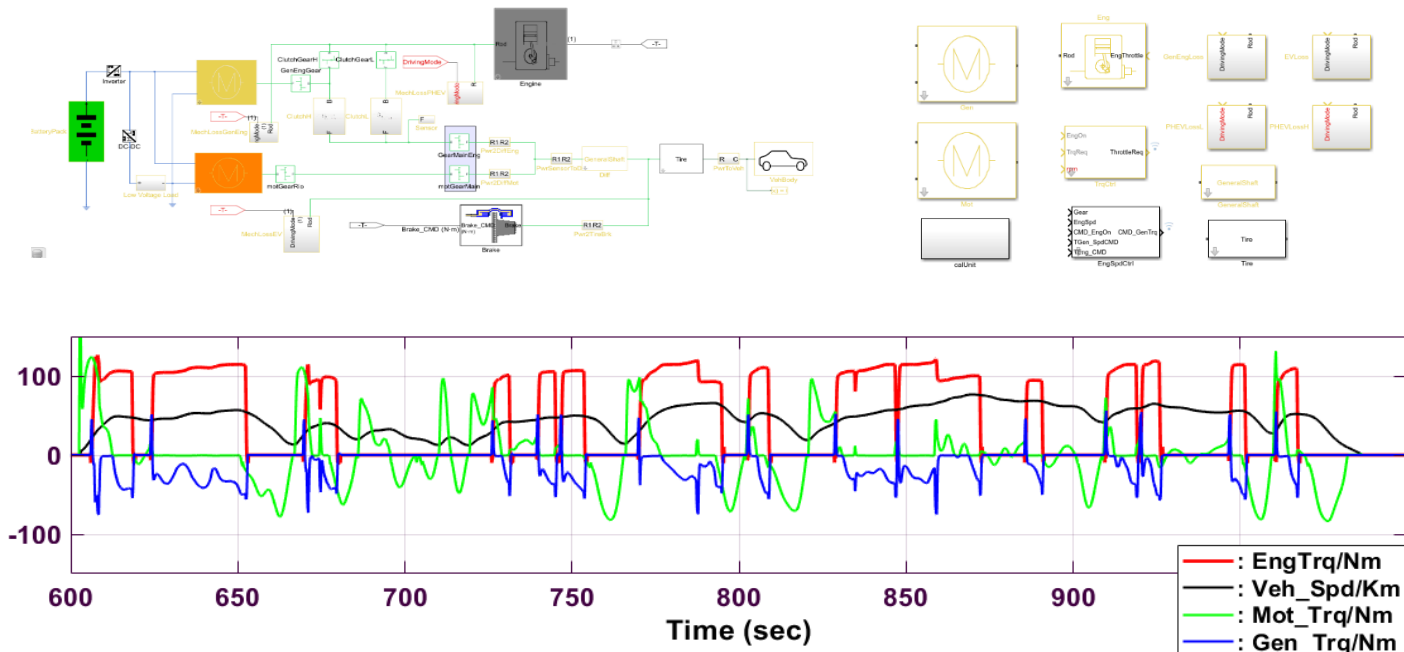
MATLAB/App designer/Report generator

- GUI
- Automatic report generation

## 2. 如何建立混动能耗仿真平台?

### ➤ 子系统动态响应模型 (库)

多动力耦合混动系统存在发动机, 电机, 电池, 变速箱等不同响应特点的子系统, 考虑各个子系统的动态响应, 建立物理模型库和说明文档, 实现建模的准确和规范化。

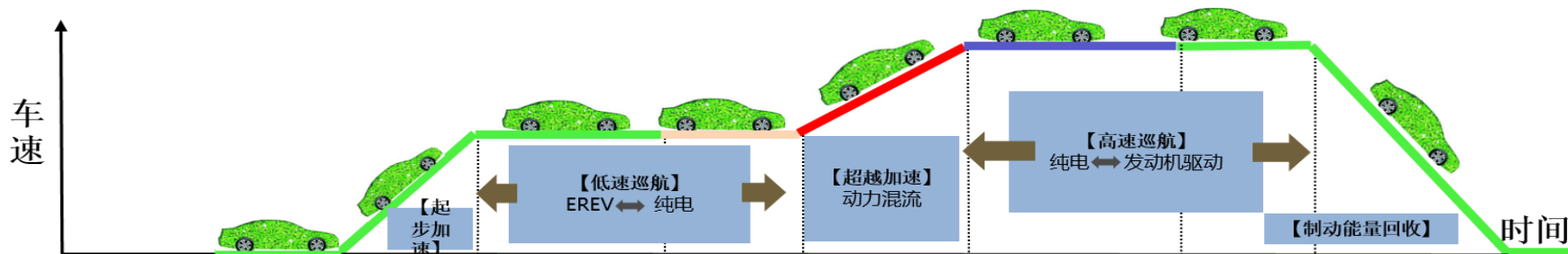


## 2. 如何建立能耗仿真平台?

### ➤ 整车驱动模式和能量管理控制 -- 模式解耦

- 工作模式: 纯电驱动/串联驱动/并联驱动

- 17种动态切换模式: 不同 SOC 和整车动力需求对应多种可能的工作模式, 需要评估每种模式下的动力性能和油耗, 实现精准的模式选择和切换。

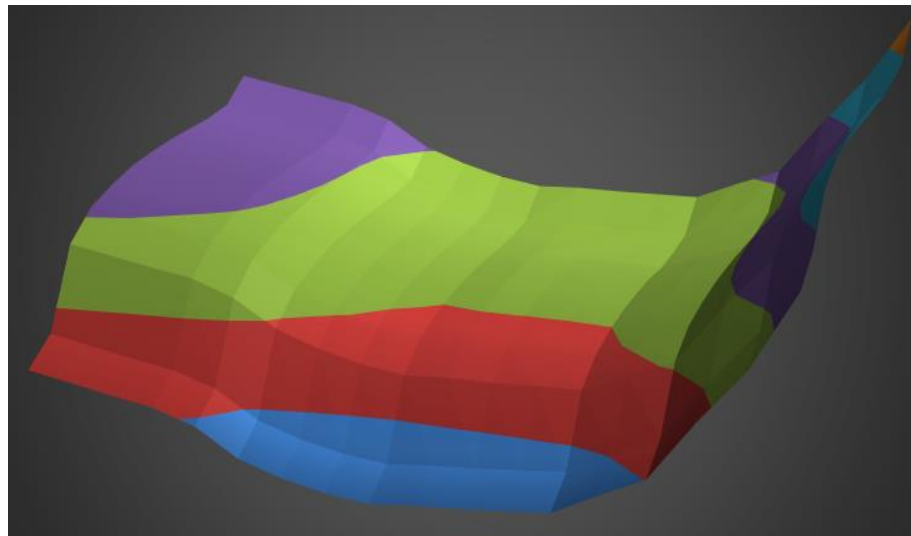
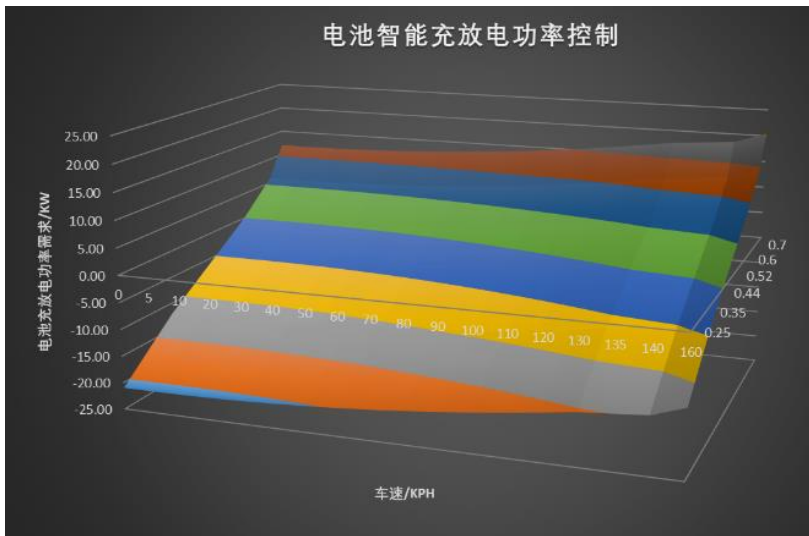


发动机	No Torque (可怠速发电)	No Torque (可行进中发电)	发电	驱动及发电	驱动或发电	No Torque	
MG1_发电	No Torque (可怠速发电)	No Torque (可行进中发电)	发电	发电	发电	No Torque	
MG2_驱动	No Torque	驱动	驱动	驱动	No Torque	驱动	
电池包管理	放电	充电	放电	充电	放电	充电	
电池电量							
运行模式	停车 (怠速充电)	EV	EV	EREV (行进中充电)	混合驱动 (发动机助力)	发动机驱动 (行进中充电)	EV (制动能量回收)

## 2. 如何建立能耗仿真平台

### ➤ 整车驱动模式和能量管理控制 -- 功率跟随

- 电池充放电：不同工作模式的能量流、传递效率、动能、电池实时能量、充放电等限制均不同；
- 发动机启停：启动功率需要考虑到整车动力需求功率、电池充电功率和12V低压负载功率，防止频繁启动；



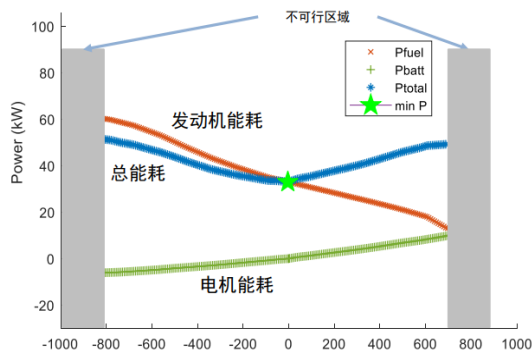
## 2. 如何建立能耗仿真平台

### ➤ 整车驱动模式和能量管理控制 -- 瞬时等效燃油消耗最低控制策略 (ECMS)

- 控制目标: 将某一瞬时发动机消耗燃油与所消耗电池电能的等效燃油量之和作为优化控制的控制目标H:

$$H = P(\text{fuel}) + S * f(\text{VehEnergEquReq}) + \text{ConstraintPenaty}$$

- 实施步骤: 根据ECMS设定的控制目标H, 每一步仿真都会计算所有模式下的发动机、电机、电池之间的能量所有分配可能, 对汽车行驶需求的驱动功率在发动机和电机之间的分配进行实时优化, 以使控制目标H的等效油耗最低;



控制目标

创建扭矩分配  
矢量

$\begin{bmatrix} Trq\ Cmd \\ 0 \\ -Min\ Mot\ Trq \\ \vdots \\ +Max\ Mot\ Trq \end{bmatrix}$

确定约束边界

$$\begin{aligned} \tau_{min}(\omega) &\leq \tau_{act} \leq \tau_{max}(\omega) \\ P_{chg}(SOC) &\leq P_{batt} \leq P_{dischg}(SOC) \\ I_{chg}(SOC) &\leq I_{batt} \leq I_{dischg}(SOC) \\ SOC_{min} &\leq SOC \leq SOC_{max} \end{aligned}$$

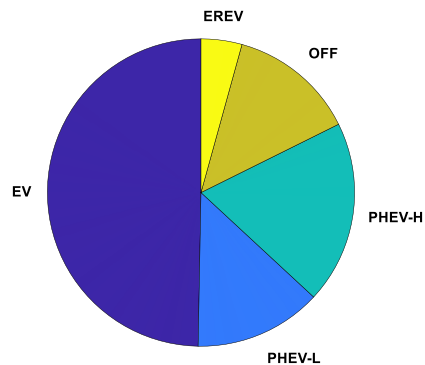
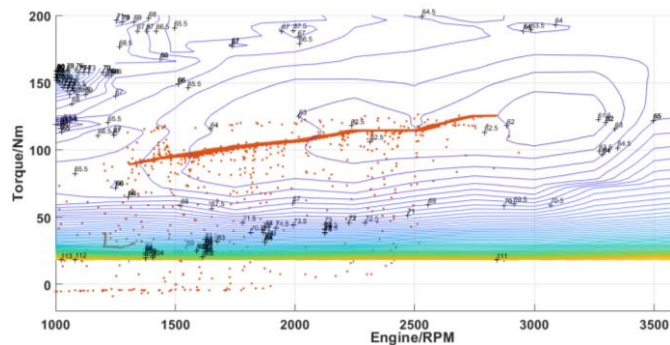
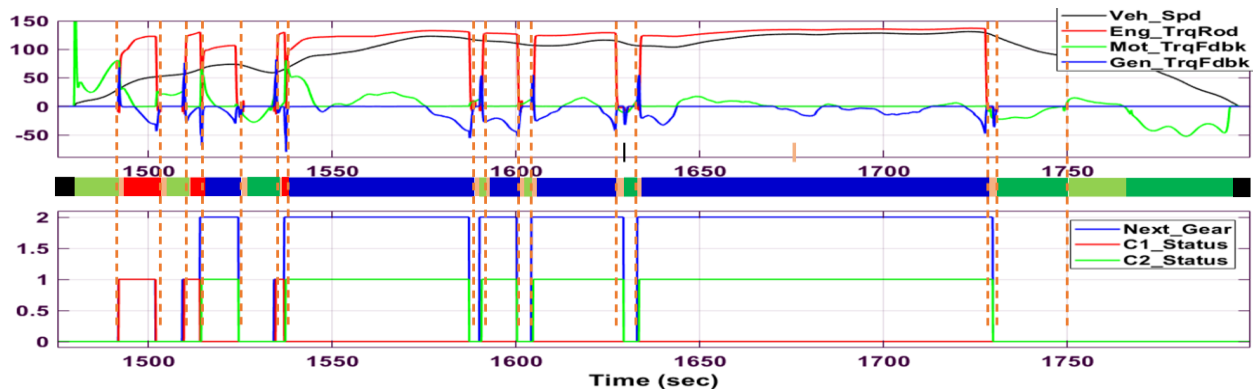
计算控制目标  
最小值

$$\min P = P_{fuel} + s \cdot P_{batt}$$

实施步骤

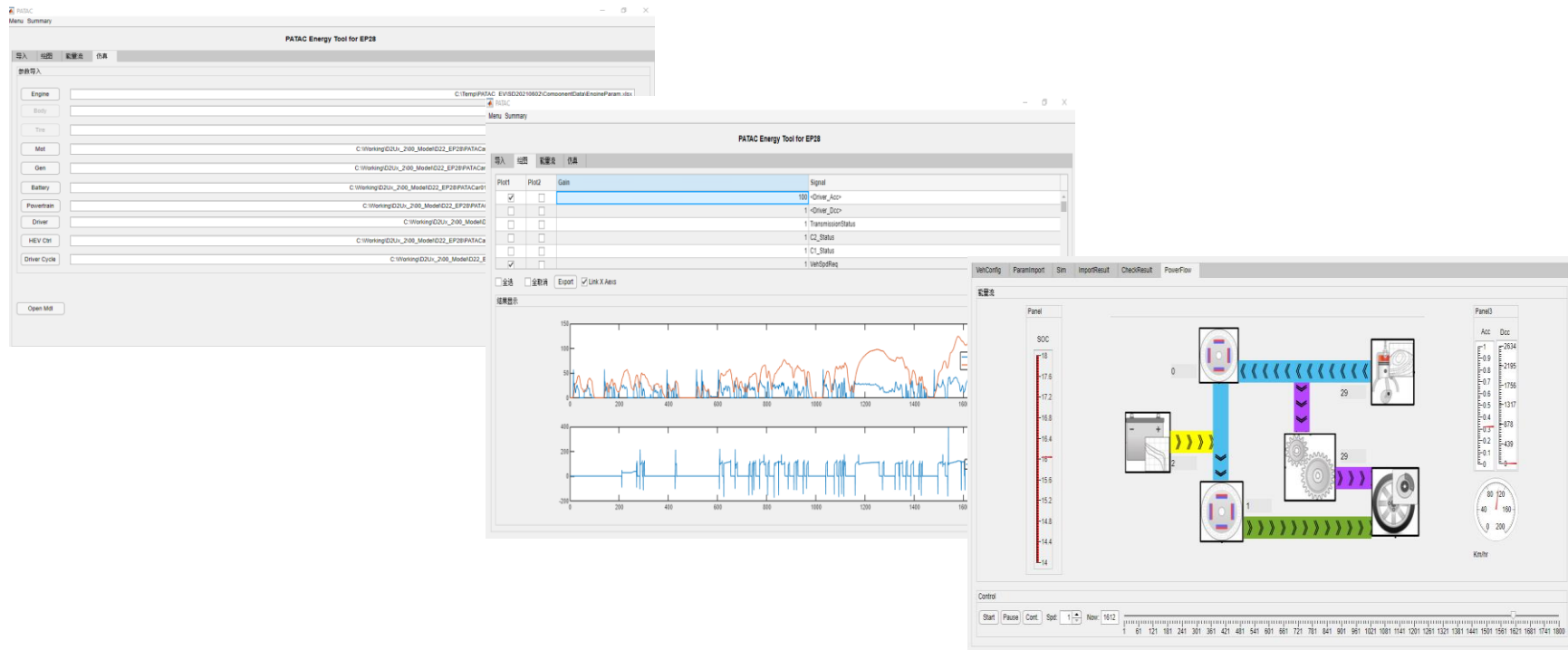
## 2. 如何建立能耗仿真平台

### ➤ WLTC仿真案例分析



## 2. 如何建立能耗仿真平台

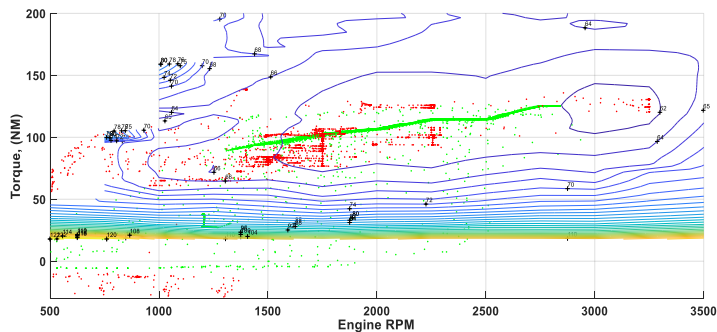
- 为了实现输入、控制、输出数据和能量流分析的规范化、自动化，针对性的开发了模型数据交互界面、功率流分析、仿真数据分析工具。能够快速实现多种驾驶模式的能耗和性能的仿真，数据分析效率提升50%；



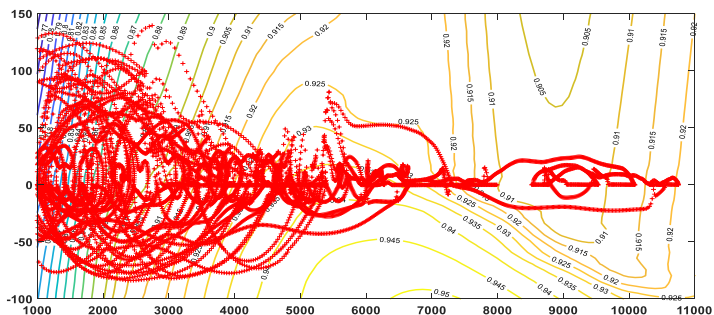
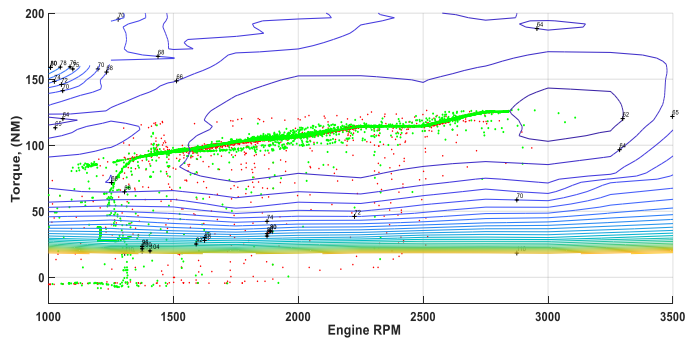
# 3. 双电机混动系统性能仿真分析

## ➤ 系统及控制策略开发

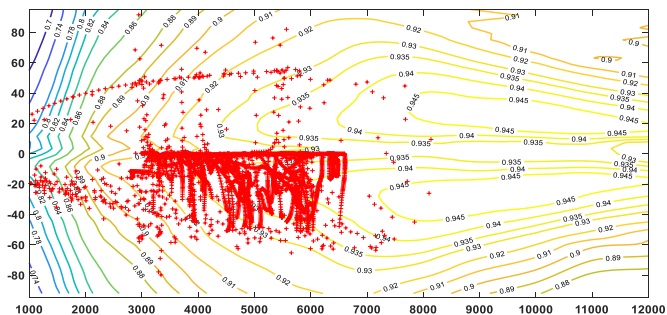
发动机工作点



发动机工作点



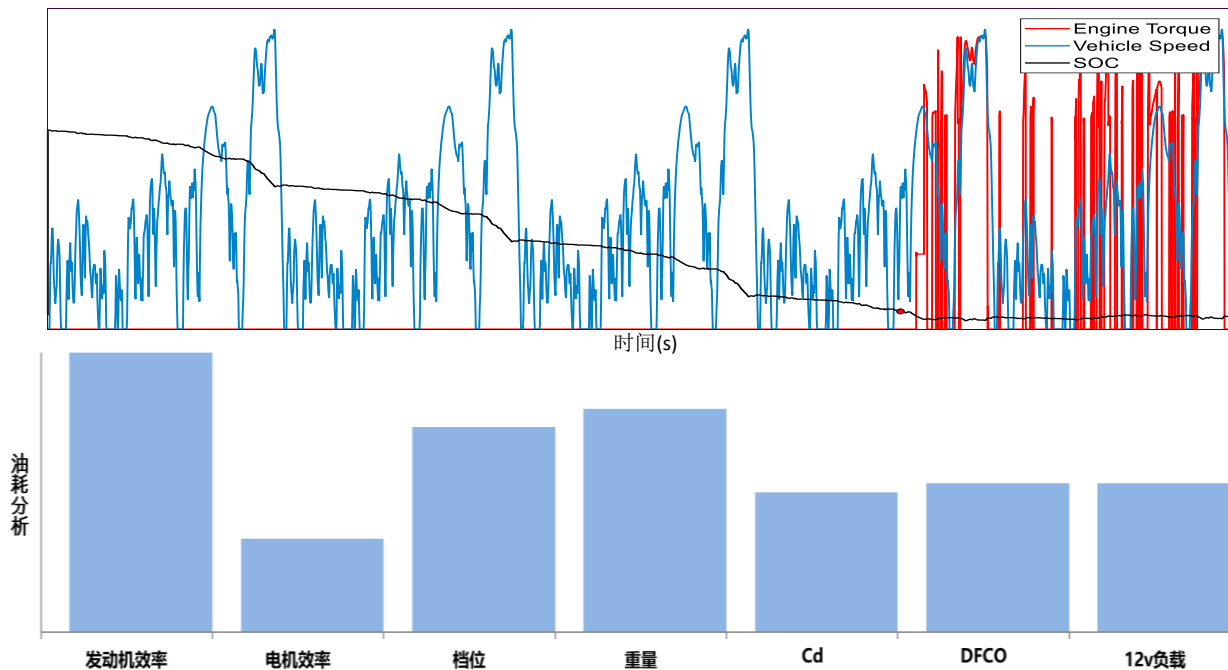
电机1



电机2

### 3. 双电机混动系统性能仿真分析

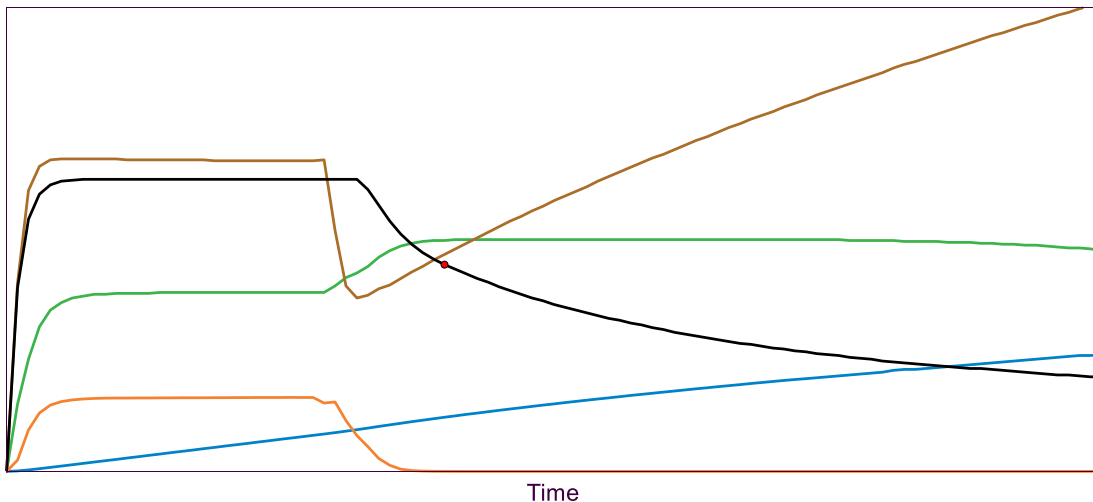
#### ➤ 系统及控制策略开发



## 4. 问题分析与解决

---

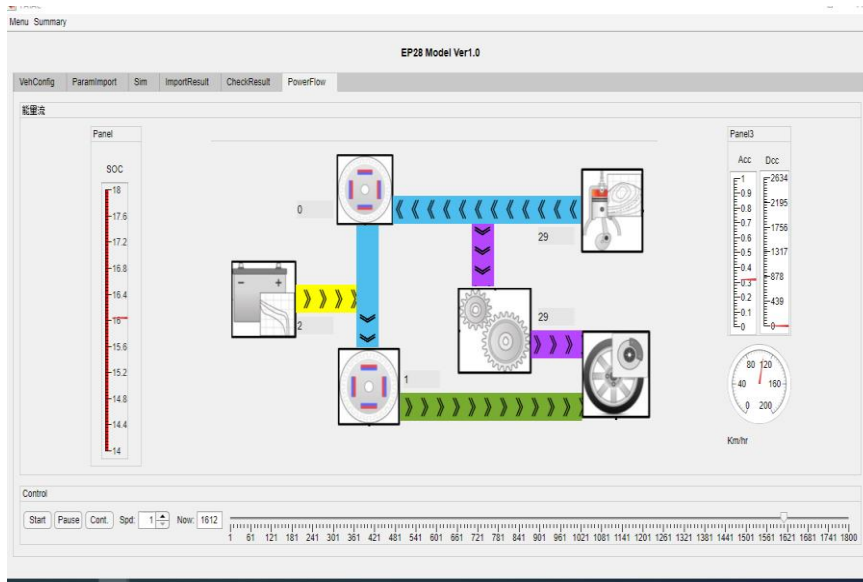
- 问题： 换挡过程控制
- 解决思路： 多动力源扭矩协调， 精准的液压控制， 提升换挡控制精度和换挡质量；



# 5. 混动系统仿真开发流程与收益

1. 数据交互规范化：统一系统参数输入和输出数据模板；
2. 仿真模型统一化：统一仿真模型参数输入模板，模型数据交互界面一键导入生成模型；
3. 数据处理自动化：仿真结果一键导出到实时能量流动和数据分析自动化工具；

HEV	Unit	Value for HEV	EQ-2 Value for PHEV
<b>Engine</b>			
T1		375TV发动机	
T18		375TV发动机	
Idle speed/怠速转速			
Idle consumption/怠速消耗量			
Pedal map			
Engine max torque/发动机最大扭矩			
Engine rotational inertia/发动机转动惯量			
M&V Brake Torque Limit			
<b>Transmission</b>			
Ratio/档位		固定档位+增减档	
gear efficiency/档位效率		固定档位+增减档	
inertia/转动惯量			
Clear shift timer/换挡时间			
Clear shift efficiency/换挡效率及损失/spin loss/bump loss			
Max Upshift RPM For WOT			
换挡离合操作力 (0.6s-1s)			
换挡离合操作力与换挡时间 (0.6s-1s)			
换挡效率			
<b>EV</b>			
Ratio/档位			
gear efficiency/档位效率			
<b>High voltage battery</b>			
Battery pack capacity/电池容量			
Battery pack capacity/电池容量			
Battery pack capacity/电池容量			
电池效率			
Battery Max. charge and discharge power/电池			
Max. Pack terminal voltage/电池最大工作电压			
Min. Pack terminal voltage/电池最小工作电压			
Max. Pack terminal current/电池最大工作电流			
Min. Pack terminal current/电池最小工作电流			
Nominal terminal current/电池额定工作电流			
Battery voltage VS. SOC, temperature/电池电压			
Charge and discharge Rohn resistance VS. SOC			
Number of modules/电池模组数			
Battery charge and discharge efficiency/电池			
Reset cell voltage/重置电压			



Thanks