

GEELY

基于Simulink和DIL技术的智能底盘虚拟标定

张伦维, 吉利汽车研究总院



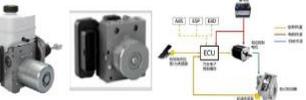
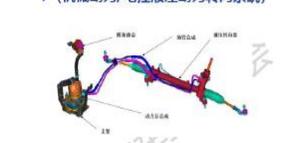
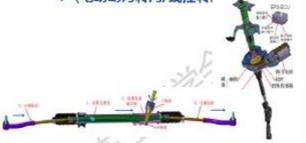
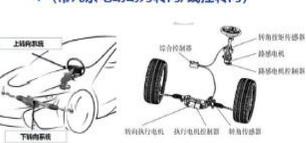
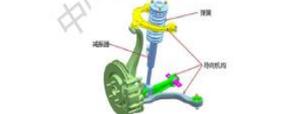
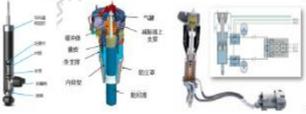
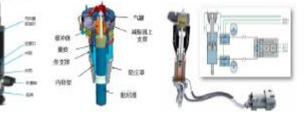
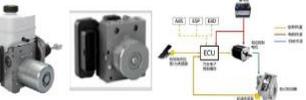
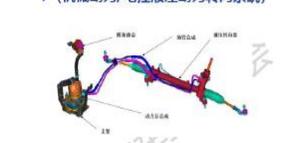
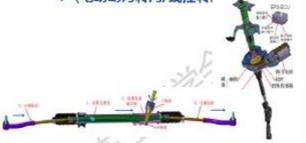
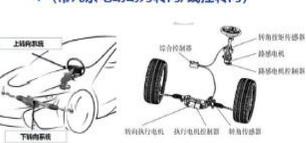
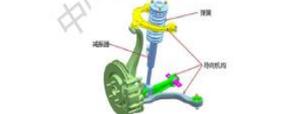
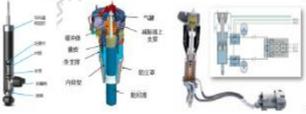
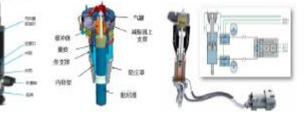
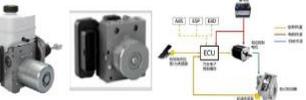
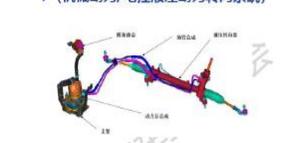
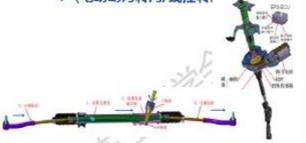
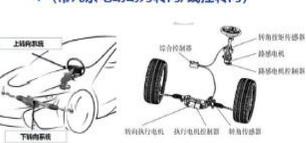
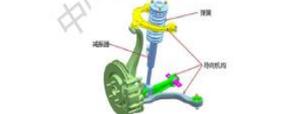
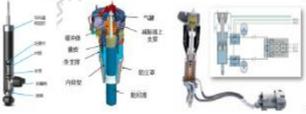
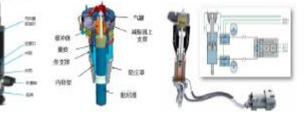
2024 MathWorks
中国汽车年会

目录：

- 智能底盘开发的新挑战
- 虚拟标定的技术创新
- 虚拟标定的实践应用

智能底盘开发的新挑战

□ 底盘正从PK架构和机械素质，发展为围绕智能底盘的体验比拼。线控化、电动化、跨域融合带来更多可能性。

		2021	2025	2030	3.3 乘用车智能底盘构型技术																
		<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>2021</p> <p>智能底盘1.0</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>2025</p> <p>智能底盘2.0</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>2030</p> <p>智能底盘3.0</p> </div> </div>			 中国汽车工程学会 <small>China Society of Automotive Engineers</small>																
底盘构型	驱动构型	前/后桥单电机驱动、前后桥双集中电机驱动	单电机驱动、前后桥双电机驱动、三电机驱动、四电机驱动	高度集成化轮端驱动构型（轮毂电机）、智能轮胎技术应用	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>传统底盘</th> <th>电动底盘</th> <th>智能底盘</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>制动</td> <td>√ (真空助力/Two-box/One-box) </td> <td>√ (Two-box/One-box) </td> <td>√ (two-box/one-box+RBU) </td> </tr> <tr> <td>转向</td> <td>√ (机械助力/电控液助力转向系统) </td> <td>√ (电动助力转向/线控转向) </td> <td>√ (带冗余电动助力转向/线控转向) </td> </tr> <tr> <td>悬架</td> <td>√ (被动悬架/半主动/主动悬架) </td> <td>√ (被动/半主动/主动悬架) </td> <td>√ (被动/半主动/主动悬架) </td> </tr> </tbody> </table>		传统底盘	电动底盘	智能底盘	制动	√ (真空助力/Two-box/One-box) 	√ (Two-box/One-box) 	√ (two-box/one-box+RBU) 	转向	√ (机械助力/电控液助力转向系统) 	√ (电动助力转向/线控转向) 	√ (带冗余电动助力转向/线控转向) 	悬架	√ (被动悬架/半主动/主动悬架) 	√ (被动/半主动/主动悬架) 	√ (被动/半主动/主动悬架) 
		传统底盘	电动底盘	智能底盘																	
	制动	√ (真空助力/Two-box/One-box) 	√ (Two-box/One-box) 	√ (two-box/one-box+RBU) 																	
转向	√ (机械助力/电控液助力转向系统) 	√ (电动助力转向/线控转向) 	√ (带冗余电动助力转向/线控转向) 																		
悬架	√ (被动悬架/半主动/主动悬架) 	√ (被动/半主动/主动悬架) 	√ (被动/半主动/主动悬架) 																		
线控制动/转向	普及ESC、eboost、EPS，具备OTA功能	ESC、eboost、冗余EPS、RWS、DAS、IBS、RBU、EMB，支持OTA、底盘信号集中域控、执行器冗余备份	支持OTA、底盘信号集中域控、执行器冗余备份、主干网络通信速率、网络安全、电气系统架构																		
电控悬架	空气弹簧在乘用车的批量应用；实现电控减震器关键零件国产化、标准化；	实现国产化多气囊和连续阻尼可变减震器的批量应用；产品达到批量装车水平。	主动悬架国产化，产业链生态完善，																		
底盘控制关键技术	线控化程度	X、Y方向实现部分线控化和协同控制	X、Y、Z实现三方向线控化和协同控制	智能底盘具备主动控制、自适应、自学习能力																	
	E/E架构	复杂动力学模型精确计算；高带宽、高速、严实时（100M左右，以太网）的车载总线技术，CAN FD FlexRay；	高带宽、高速、严实时（≥100M，以太网）的车载总线技术	普及以太网																	
	域控技术	驱制动一体化控制，域控制系统，智能驾驶统一接口；	实现底盘一体化域控，实现软件定义底盘；智能驾驶统一接口；	实现四轮驱动汽车底盘的高度集成控制（4WD+ESC+EPS+空气悬架），支持软件定义底盘、OTA升级等																	
	电控系统功能安全	完善智能底盘功能安全设计流程，建立预期功能安全设计分析流程；构建智能底盘信息安全防护体系；	实现功能安全与预期功能安全标准在智能底盘上的示范应用；实现信息安全防护体系落地实施；	全面实现功能安全标准和预期功能安全标准的应用；信息安全防护体系全面实施																	

思考：底盘线控化、电动化、跨域融合对车辆动力学的需求和机会？

智能底盘开发的新挑战

- ▣ 项目开发周期短、功能算法验证前移等推动了车辆动力学数字化开发的技术迭代和变革。



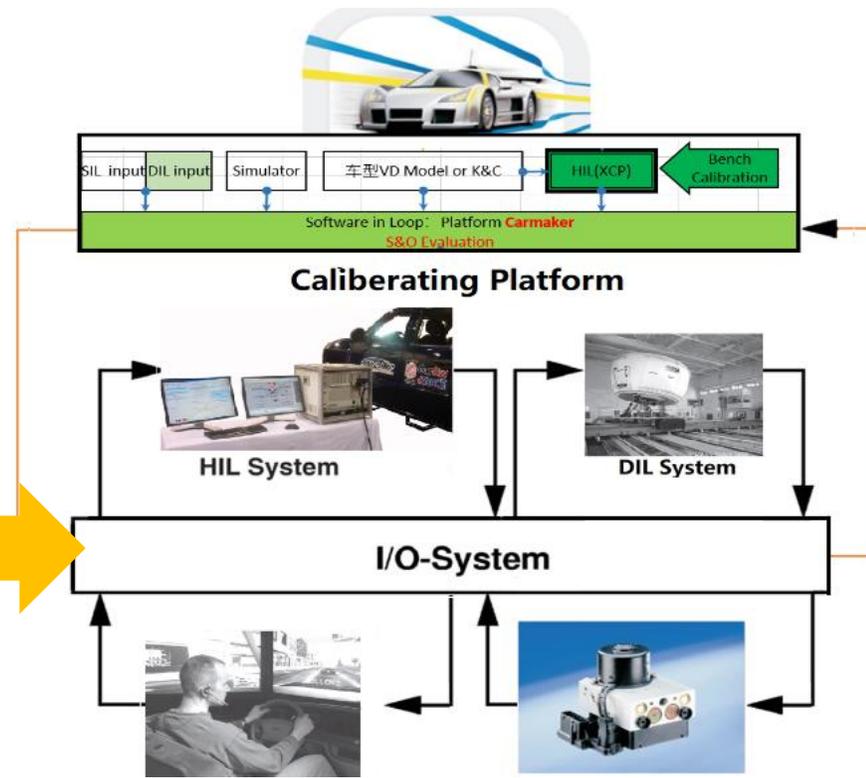
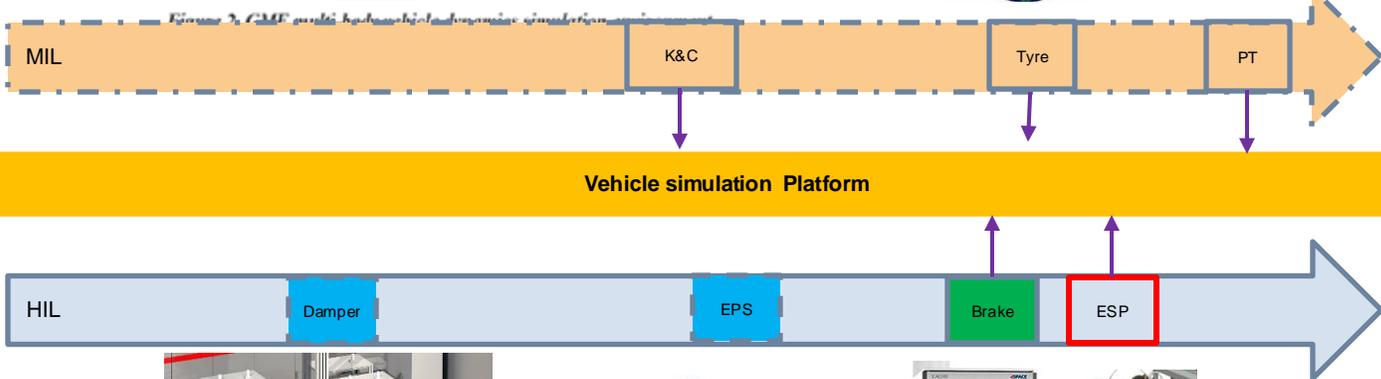
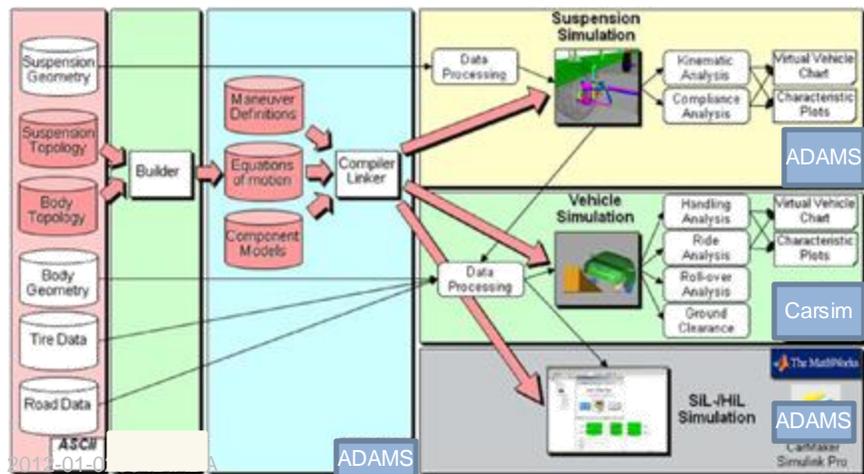
思考：基于高精度模型和HIL+DIL的仿真技术，开展虚实结合的车辆动力学开发是必然趋势和手段。

目录：

- 智能底盘开发的新挑战
- 虚拟标定的技术创新
- 虚拟标定的实践应用

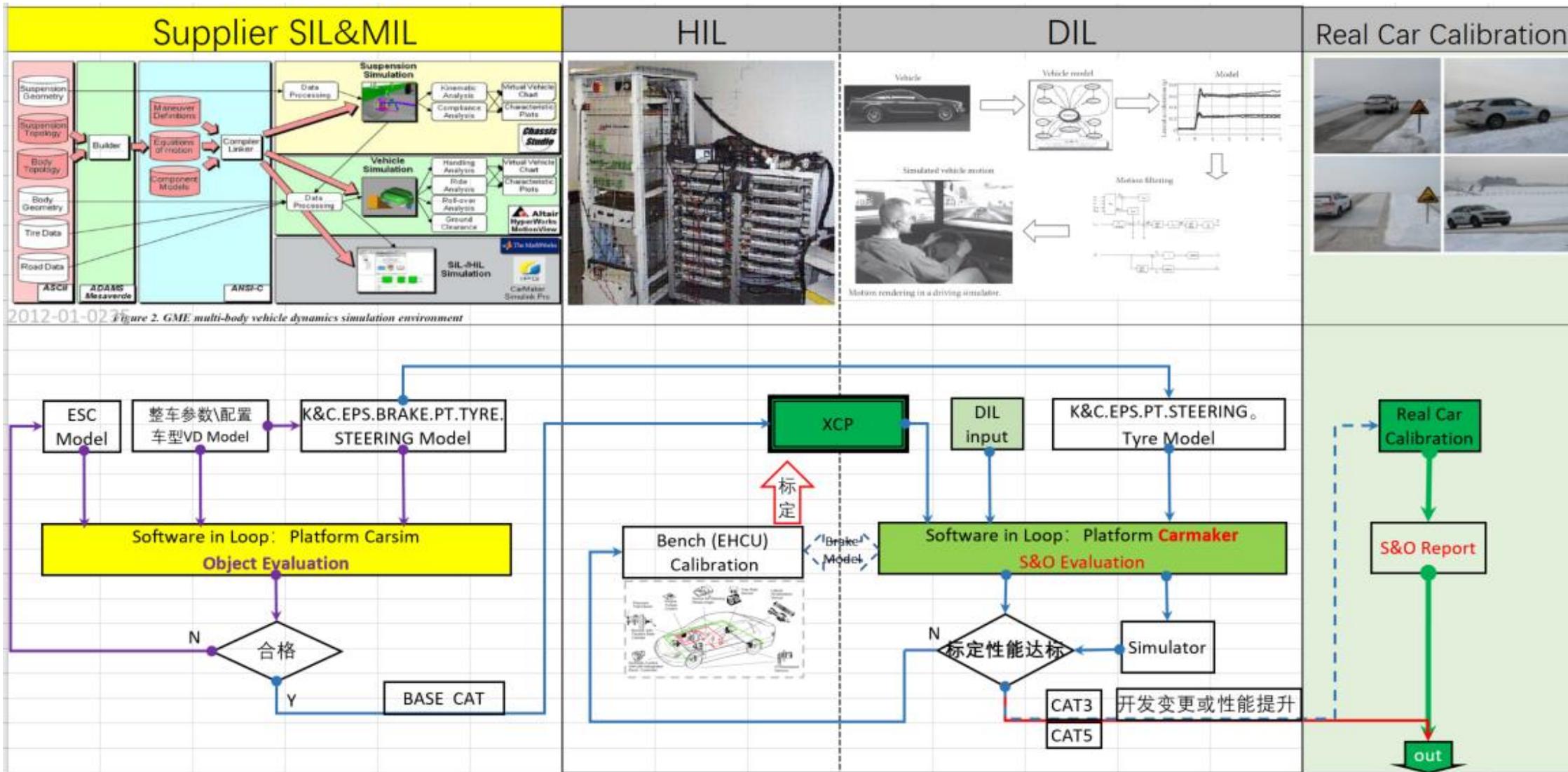
虚拟标定的技术创新

虚拟标定技术目前已经突破了硬件在环、场景、实时仿真、轮胎模型、模拟器评价等技术瓶颈，将高速发展。



虚拟标定的创新和实践

ESC/ABS/TCS标定作为目前最为广泛的底盘电控系统标定内容，突破虚拟标定技术可以颠覆传统的开发模式约束。



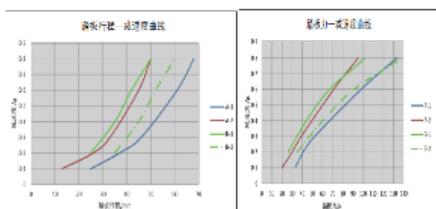
2012-01-02 35 Figure 2. GME multi-body vehicle dynamics simulation environment

虚拟标定的技术创新

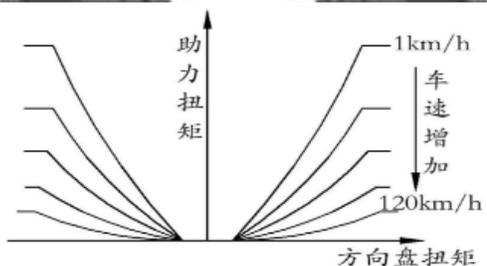
要进行虚拟标定，首先要解决模型精度问题。那些可以参数化模型、那些需要物理模型、那些需要硬件在环？

	转向	轮胎	悬架	基础制动	onebox	动力	CAN通讯	场景/环境
高附	DIL	PAC/MF	Simulink	Simulink	HIL	Simulink	实时	实时
低附	DIL	PAC/MF	Simulink	Simulink	HIL	Simulink	实时	实时
冰雪	DIL	PAC/MF	Simulink	Simulink	HIL	Simulink	实时	实时

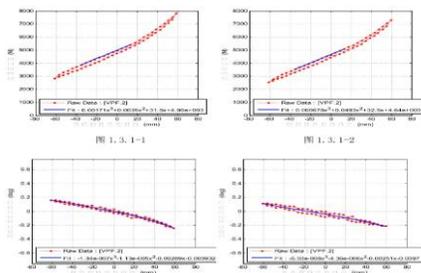
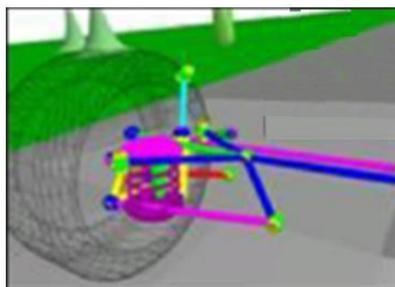
Brake Model



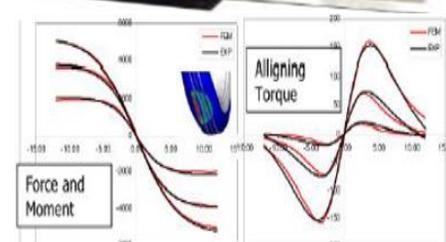
Steering Model



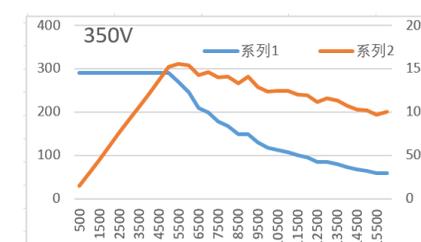
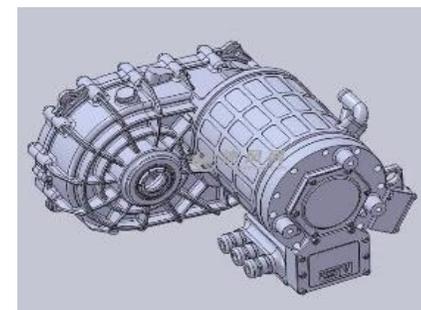
SUSP Model



Tyre Model

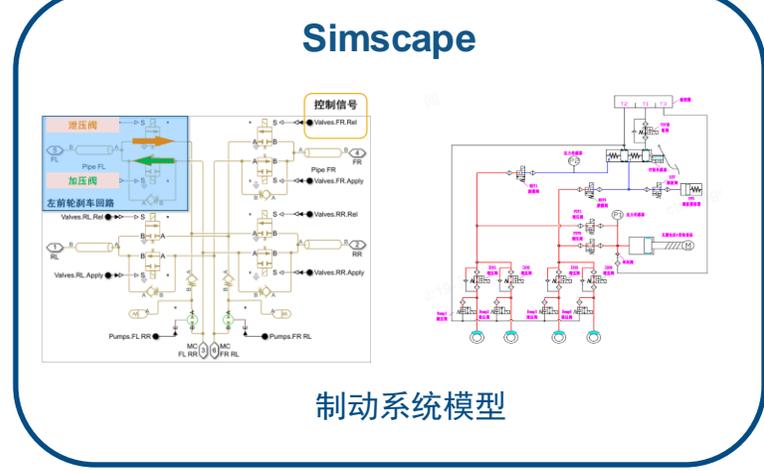
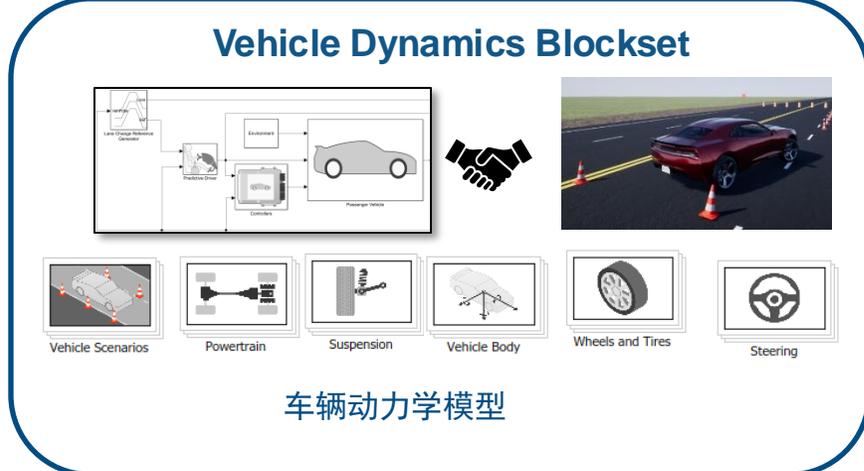
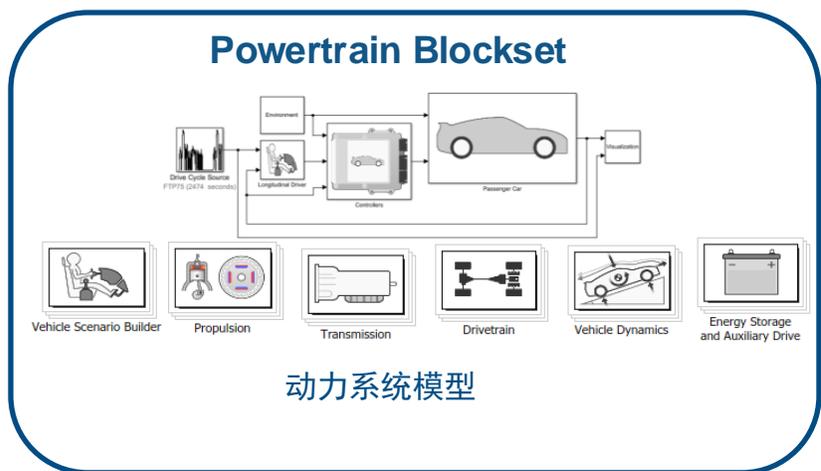


PT Model

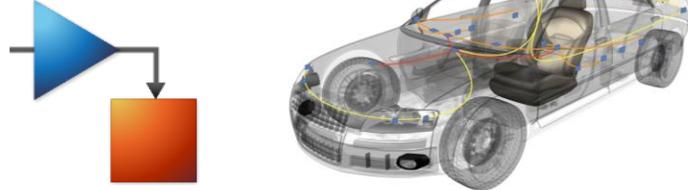


虚拟标定的技术创新

应用MATLAB的相关工具箱建立动力和车辆模型，利用MBC工具箱等工具链搭建完整的虚拟标定环境。



Simulink

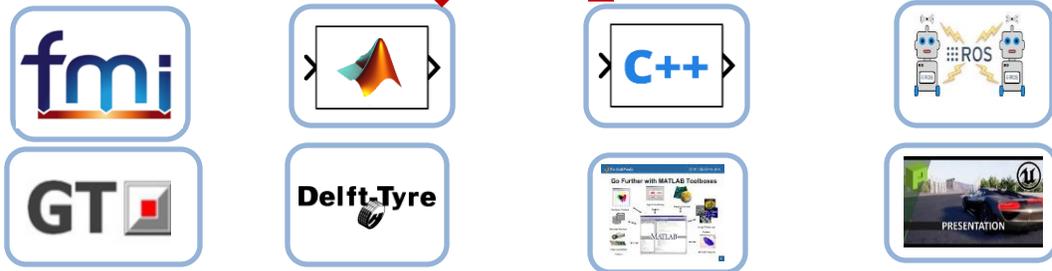


工具箱:

Simulink Design Optimization Toolbox
Model-Based Calibration Toolbox

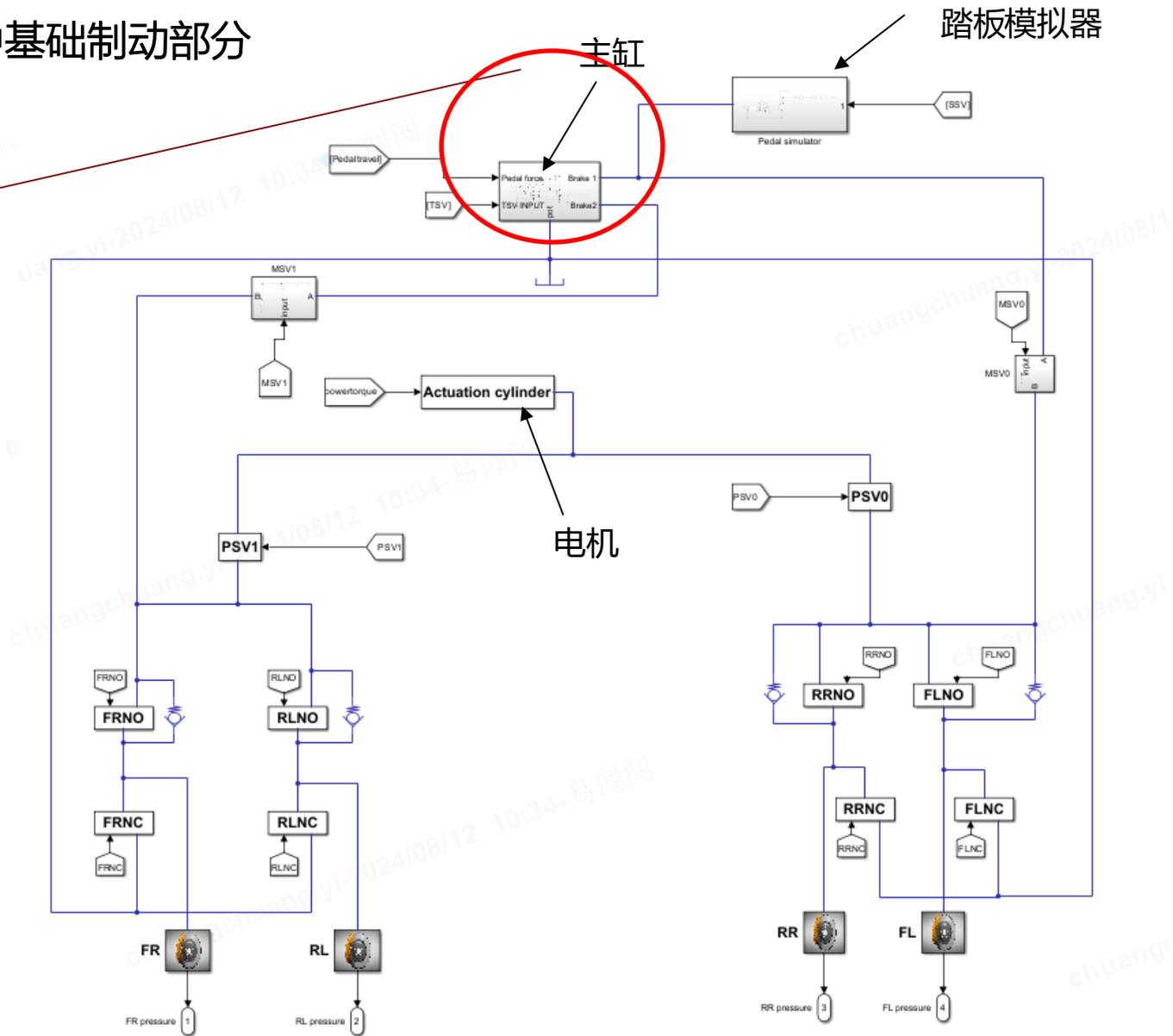
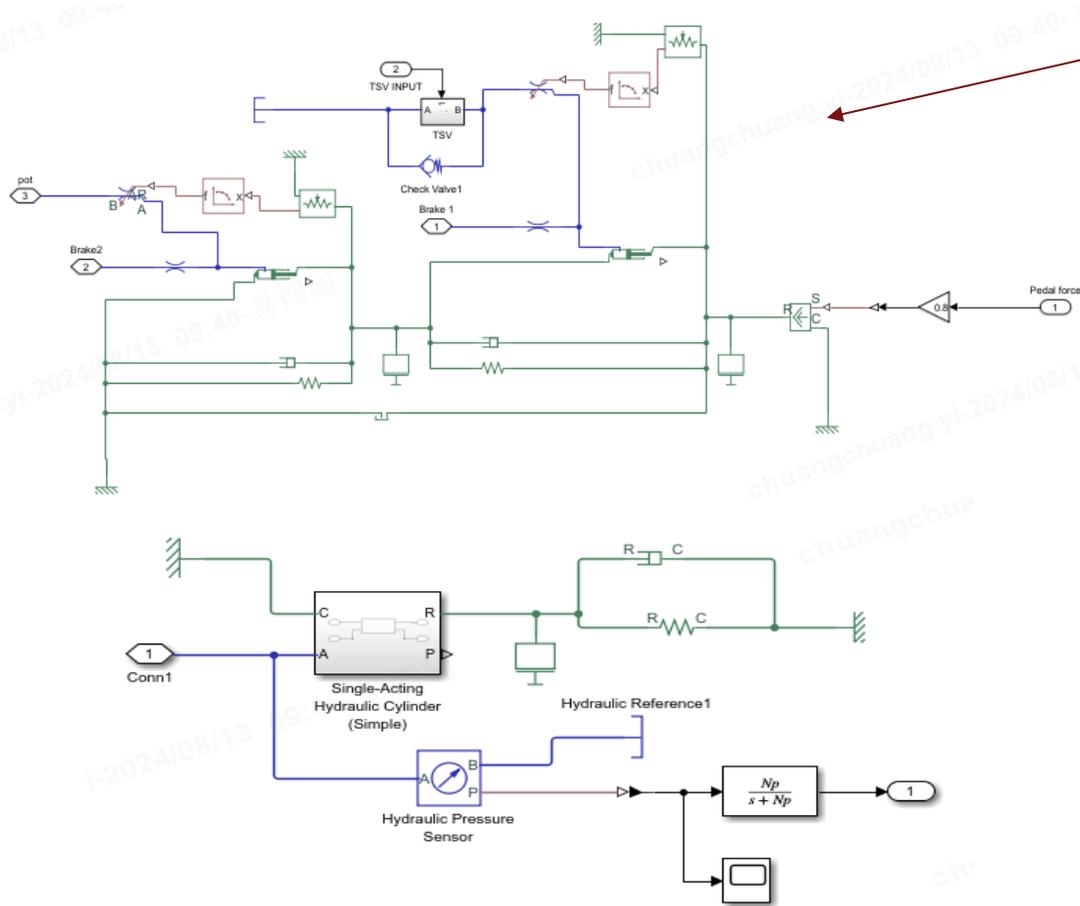
仿真加速:

Parallel Computing Toolbox
MATLAB Production Server



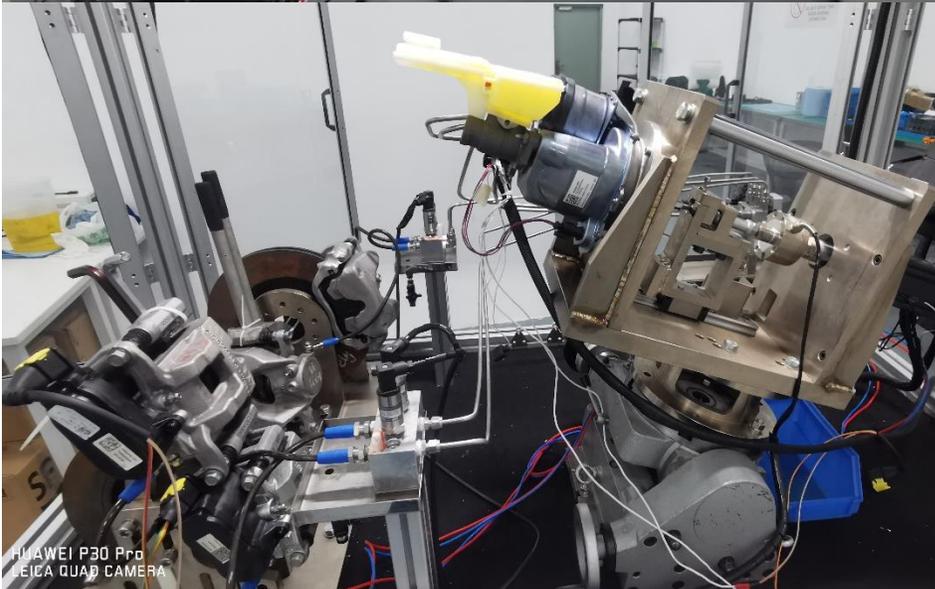
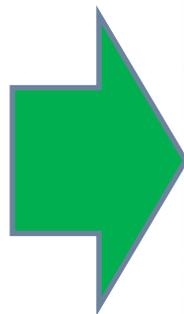
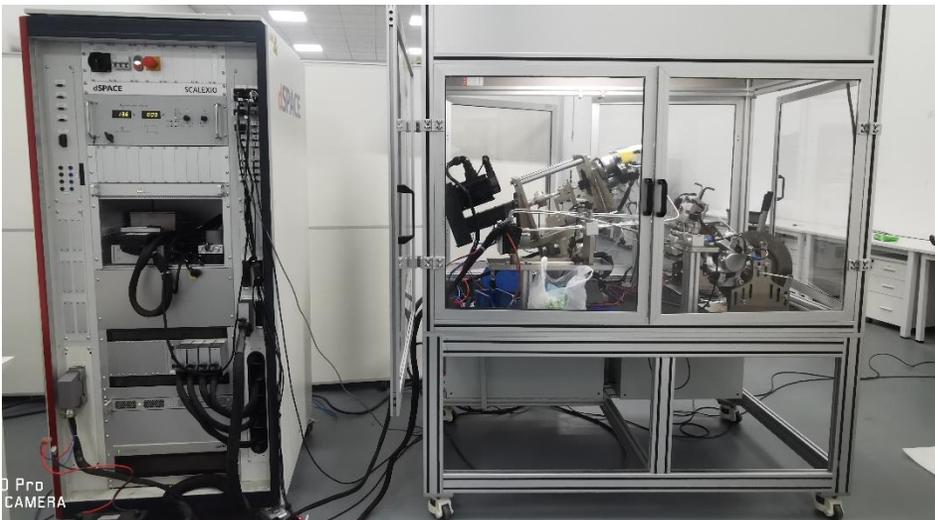
虚拟标定的技术创新

制动系统建议采用半模型半实物的方式进行。其中基础制动部分采用simulink模型，onebox采用实物。



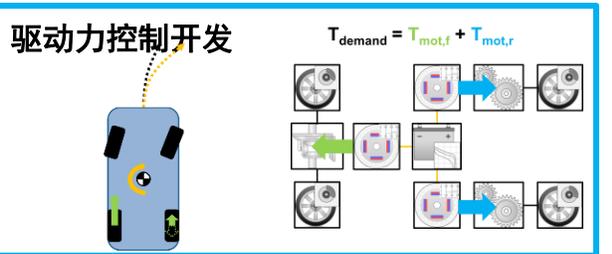
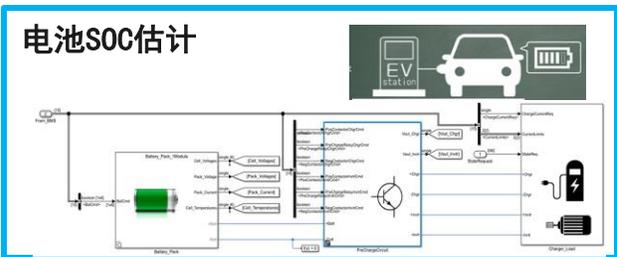
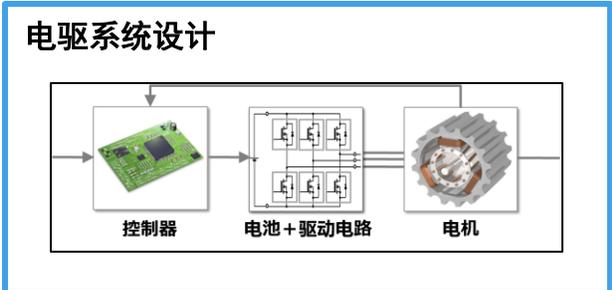
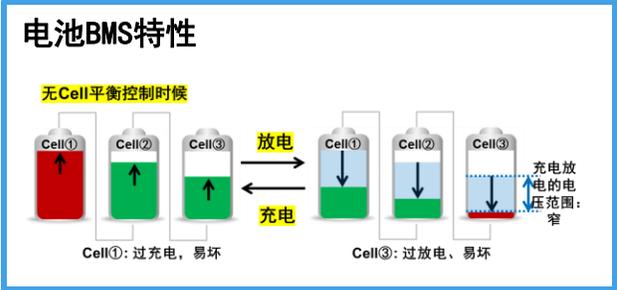
虚拟标定的技术创新

□ Onebox实物既能兼顾供应商保密的需求，又能满足OEM标定的需求。



虚拟标定的技术创新

动力系统的模型对底盘控制系统标定的影响很大，Simulink 可提供动力系统建模和控制系统联合仿真的条件。



工具集成

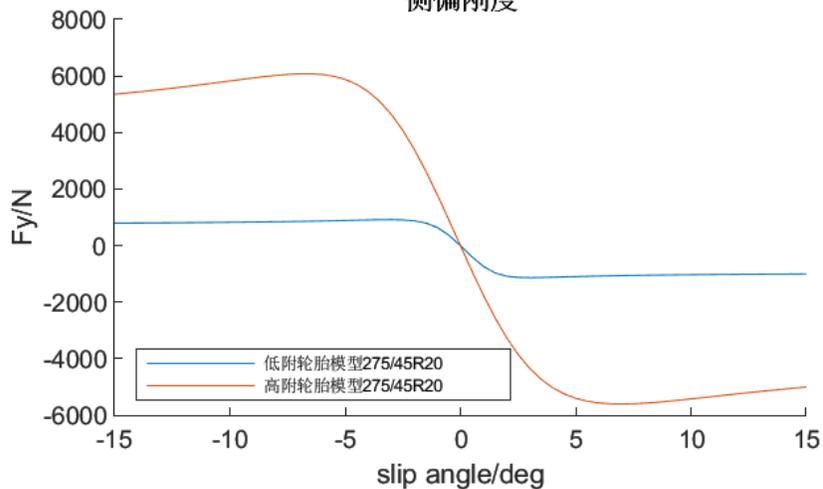
Modelica, GT, Delft-Tyre, C++, fmi, IPG, Simulink, ROS

虚拟标定的技术创新

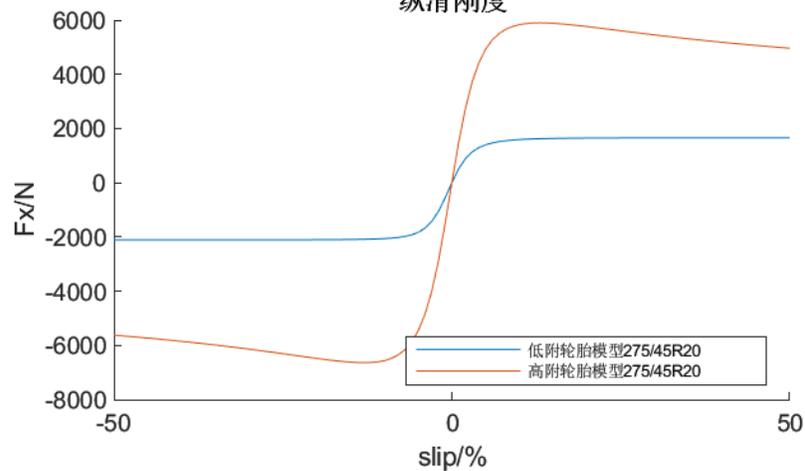
❑ 轮胎模型对标定准确度影响极大，到底是采用高附轮胎模型还是低附轮胎模型？



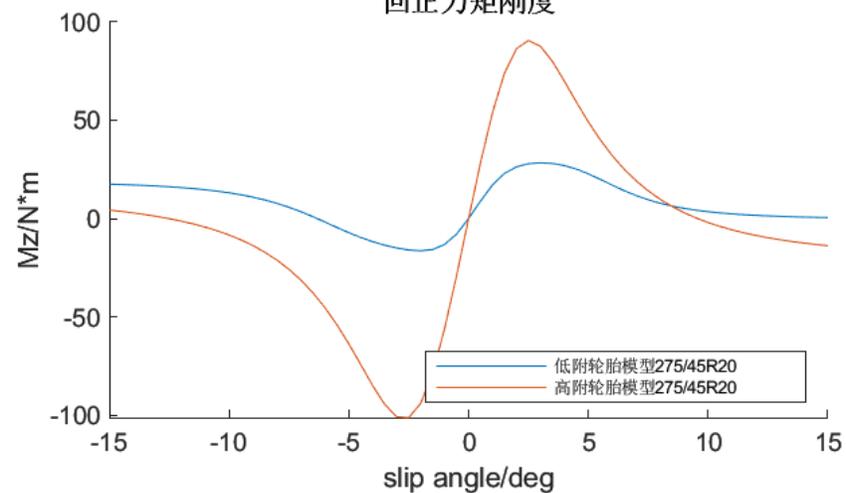
侧偏刚度



纵滑刚度

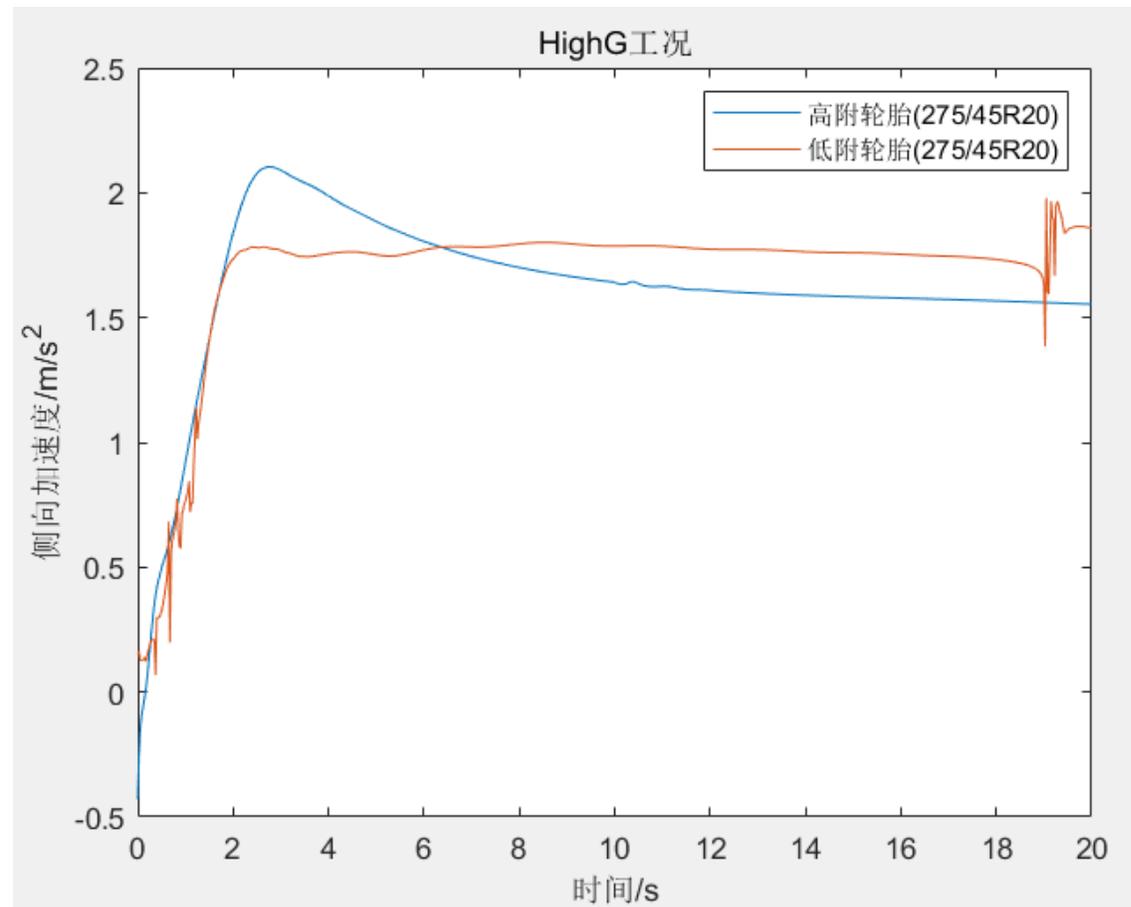
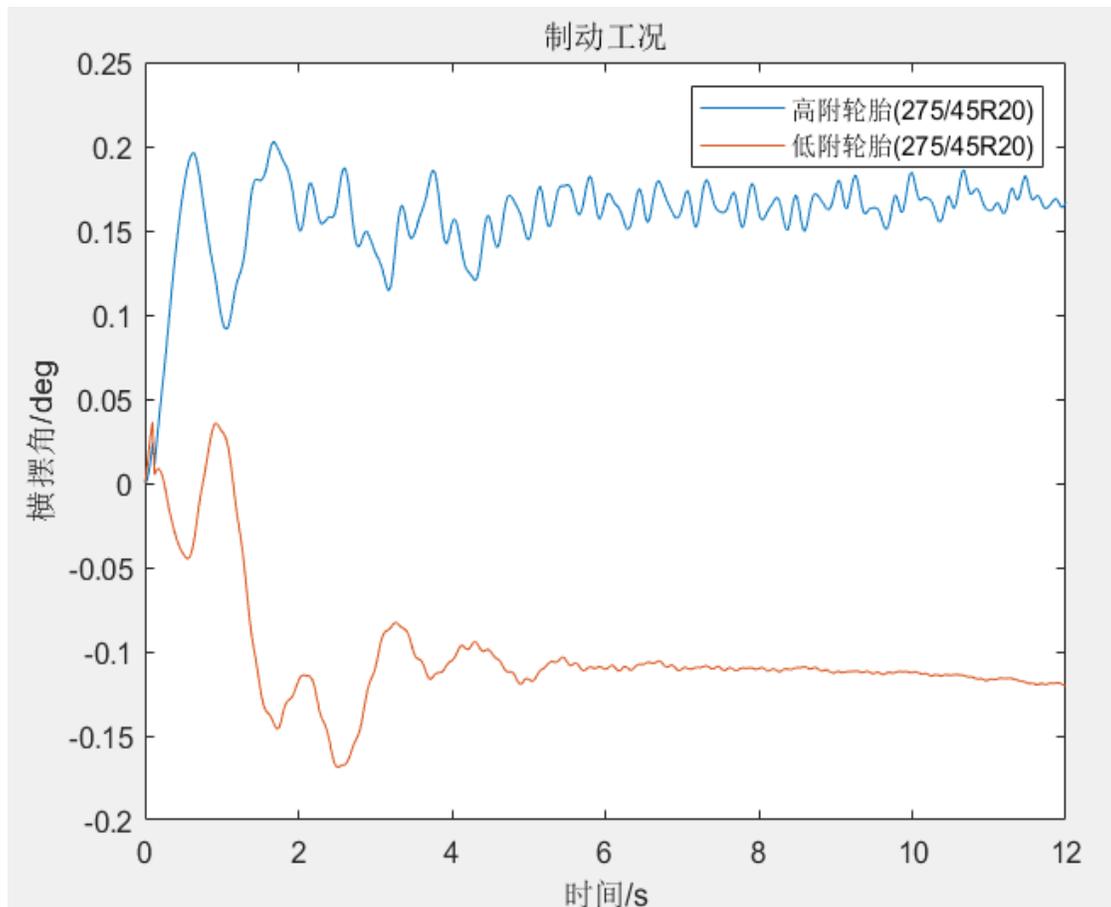


回正力矩刚度



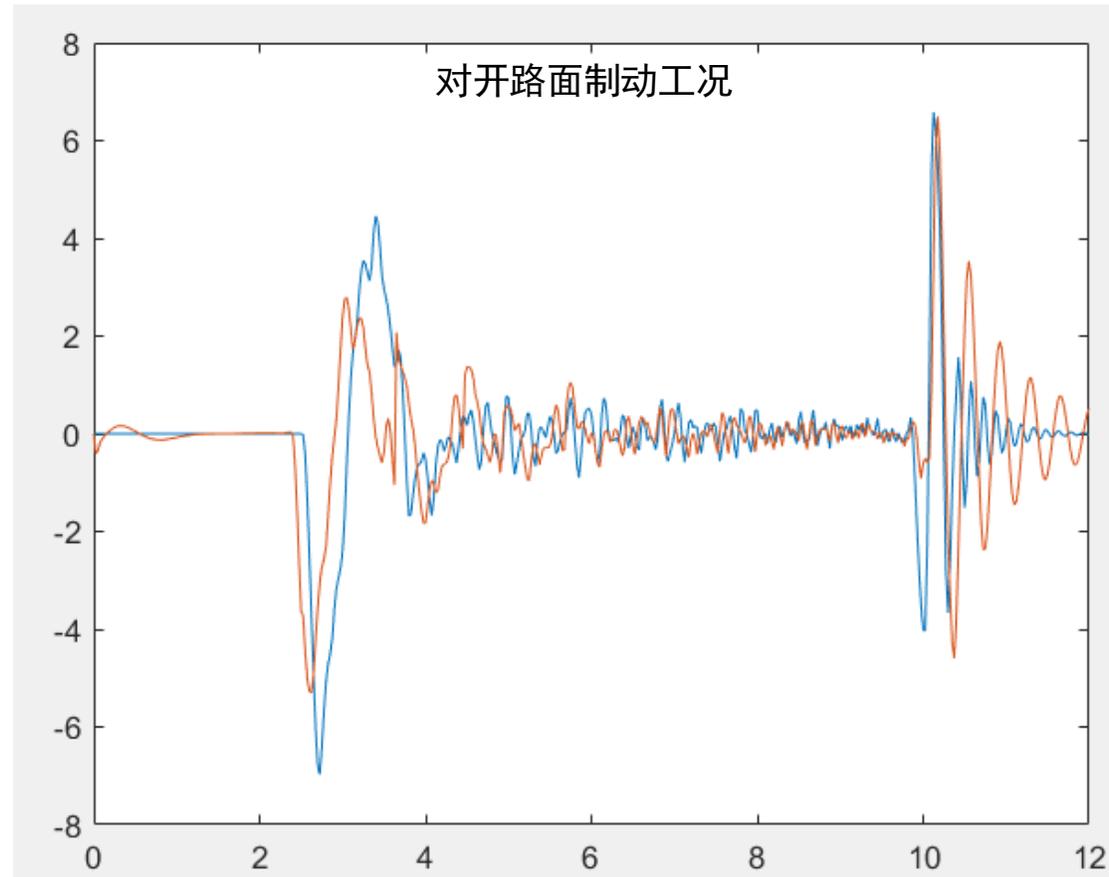
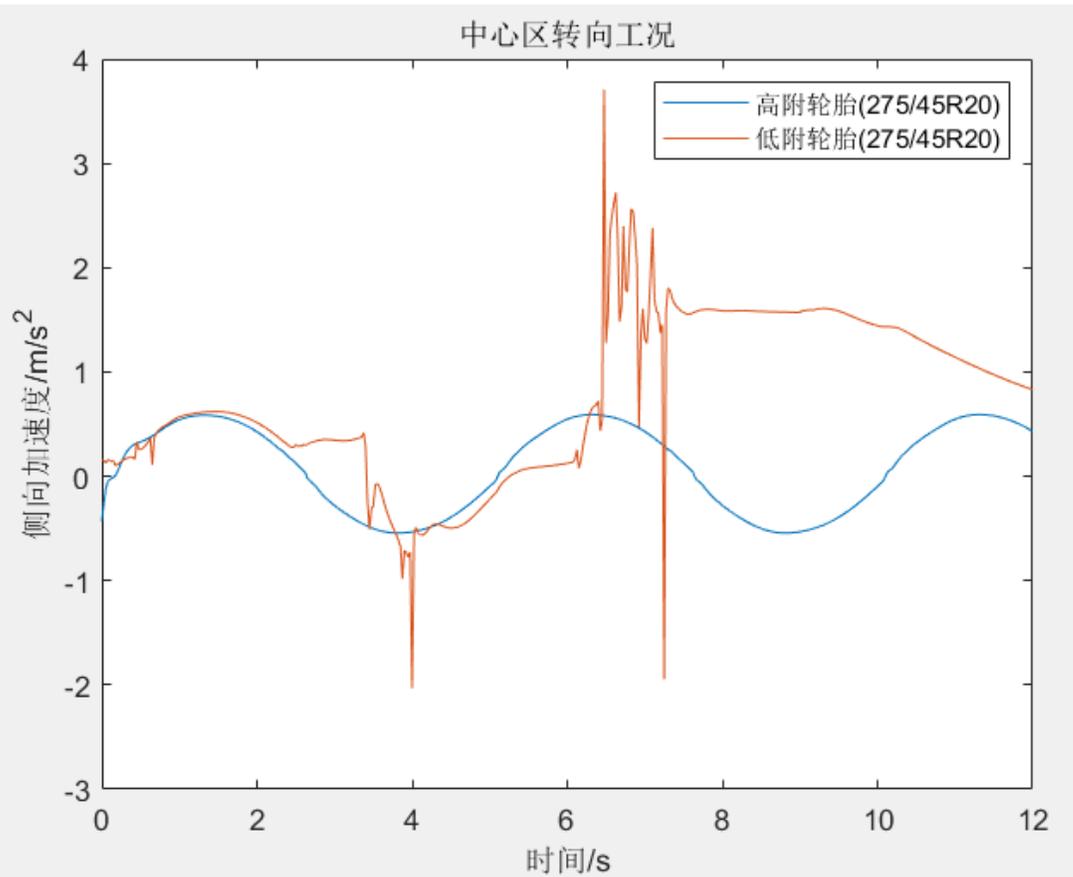
虚拟标定的技术创新

▣ 轮胎模型对标定准确度影响极大，到底是采用高附轮胎模型还是低附轮胎模型？



虚拟标定的技术创新

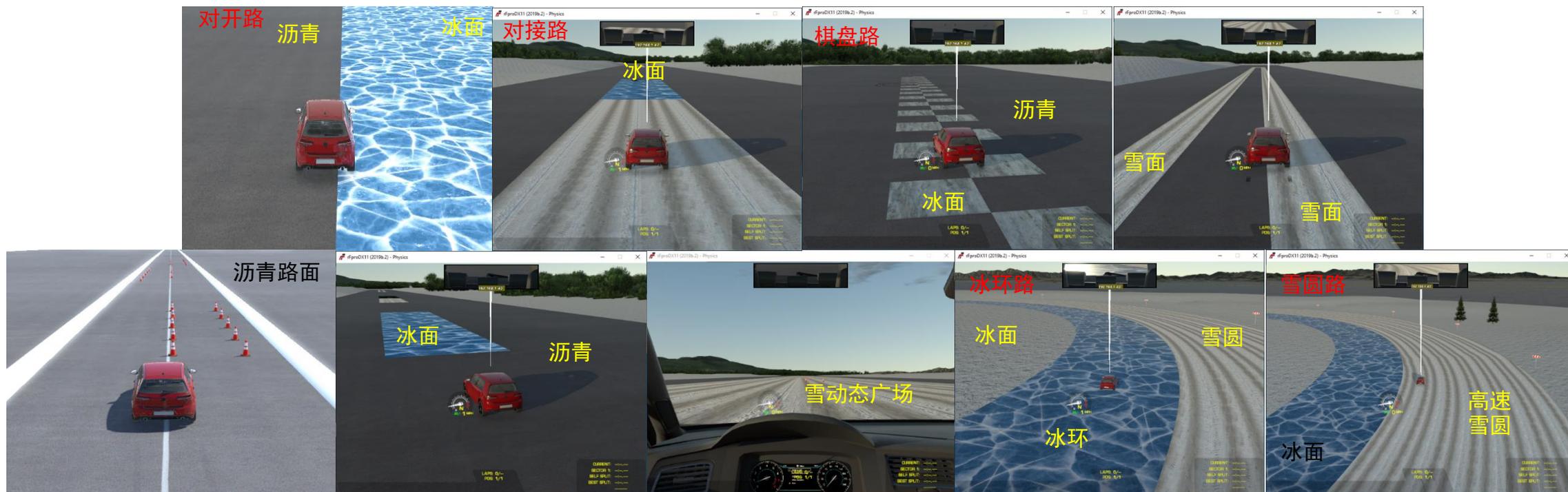
- 低附轮胎模型的辨识是难点，需要注意小角度低频的参数。另外雪地轮胎模型与高附湿滑的低附模型不同。



虚拟标定的技术创新

□ 场景中最难的是低附和冰雪场景。摩擦系数和粗糙度均是需要特殊处理的参数。

1	冰雪动态广场	由大面积的压实雪路及粗糙的冰面	ESP, TCS, ABS, EBD系统验证, 操稳、蛇形、麋鹿试验等
2	冰雪圆环	由内环的抛光冰面和外环的压实雪路组成, 嵌套对接/棋盘路面?	ESP, TCS, ABS, EBD系统验证
3	对开对接路	由高低附分离路面组成	ESP, TCS, ABS, EBD系统验证
4	对开爬坡	由左右分离的高低附坡道路面组成, 10%\15%\25%\30%四种坡度,	HDC、TCS
5	棋盘路	由高低附路面横向纵向交替组成	ESC\ABS开发标定, DWT-B (轴间, 并集成TCS联调)
6	高速环道	椭圆形或圆形冰面或压实雪面	轮胎试验、动力性、耐久性
7	雪操控路	由不同曲线半径蛇形压实雪路	ESP, TCS, EBD, DWT-B系统验证
8	“城市道路”	由“田”字形或环形组合而成, 并在路口及路段中设置交通信号灯, 路面为压实雪路, 同时在一些拐角处添加抛光冰。	用以模拟城市道路环境, 验证和匹配车辆在积雪的城市道路中的操控表现。



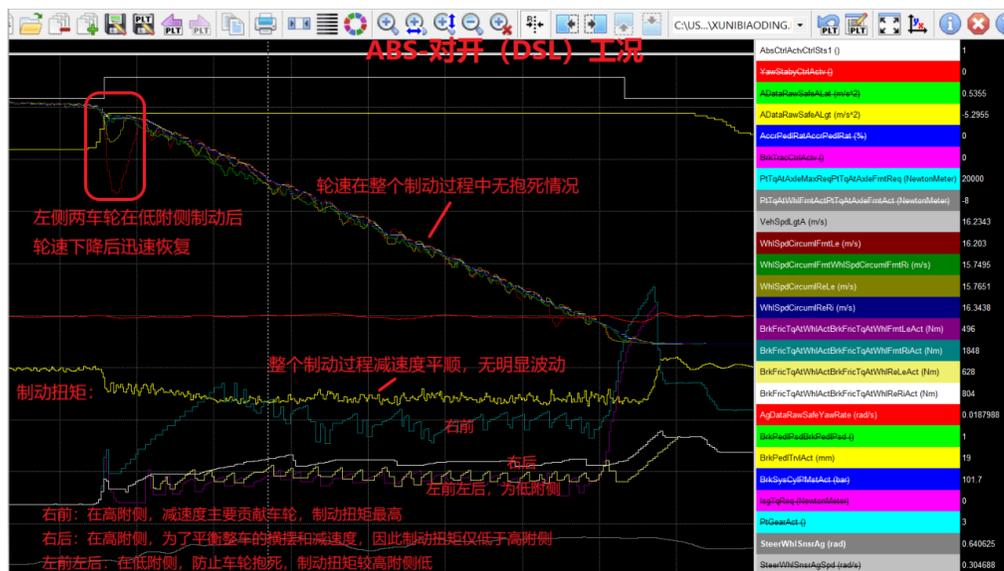
目录：

- 智能底盘开发的新挑战
- 虚拟标定的技术创新
- 虚拟标定的实践应用

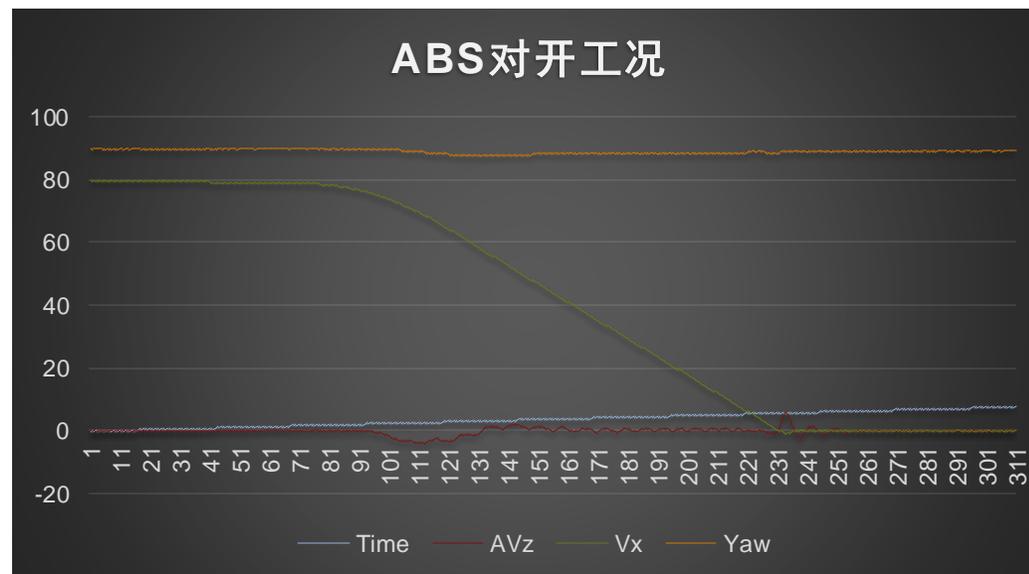
虚拟标定的实践应用

- 高低附ABS相关场景/工况的标定精度非常高，并且结合硬件HIL还能对ABS工作平顺性进行评估。

ABS 80kph-对开制动 (DSL) 工况数据分析



实车测试数据



虚拟标定数据

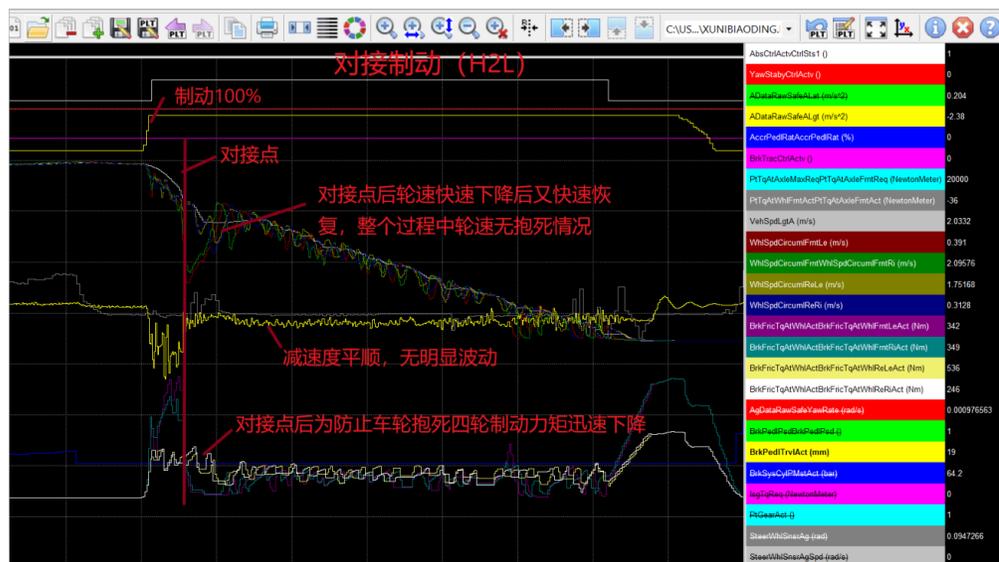
实车数据：车速在80kph对开制动时，低附侧车轮因附着系数低导致轮速先快速下降，随后ABS激活后低附侧车轮快速泄压轮速恢复，防止车轮抱死，高附着侧前轮制动力矩以较快的速度上升（力矩上升速度取决于车辆横摆和减速度），整个制动过程中减速度平顺，无明显波动。

虚拟标定：无逻辑错误，各信号传输正常，作动正常。

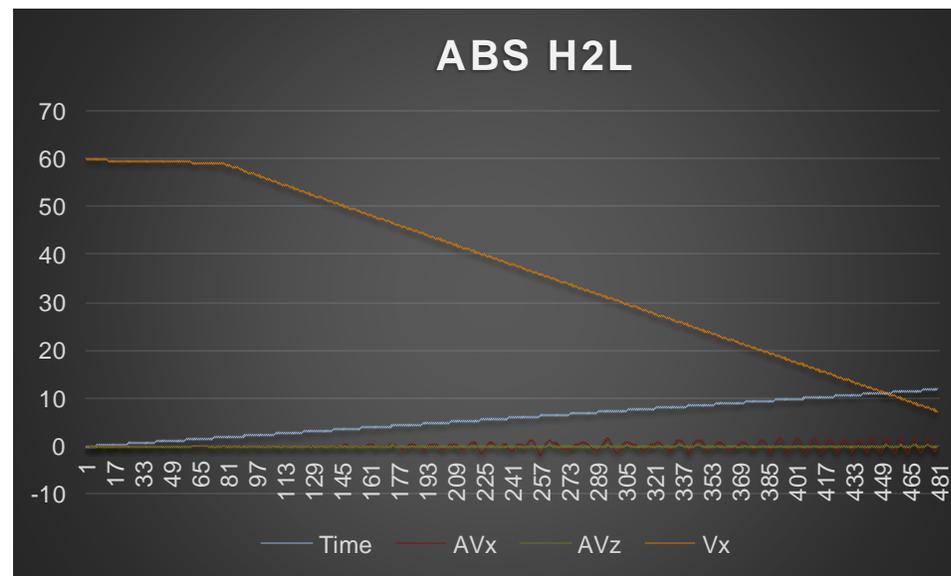
虚拟标定的实践应用

高低附ABS相关场景/工况的标定精度非常高，并且结合硬件HIL还能对ABS工作平顺性进行评估。

ABS 70kph对接制动 (H2L) 工况数据分析



实车测试数据



虚拟标定数据

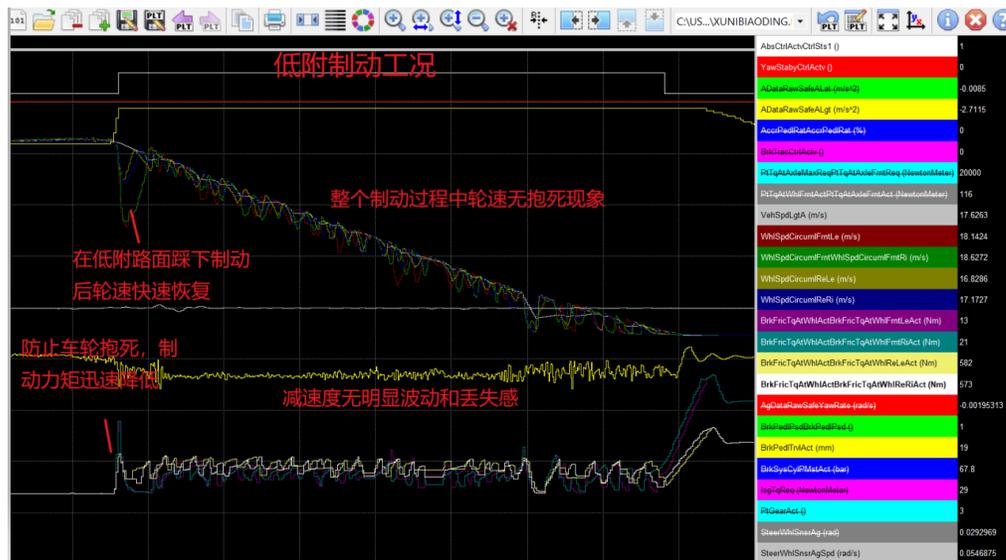
实车数据: 车辆在对开制动 (高进低) 时, 在对接点进入低附后, 为防止车轮出现抱死随着ABS激活, 四轮制动力矩快速下降, 轮速在很短时间内迅速恢复, 整个过程中轮速无抱死情况, 减速度平顺无明显波动。

虚拟标定: 无逻辑错误, 各信号传输正常, 作动正常。

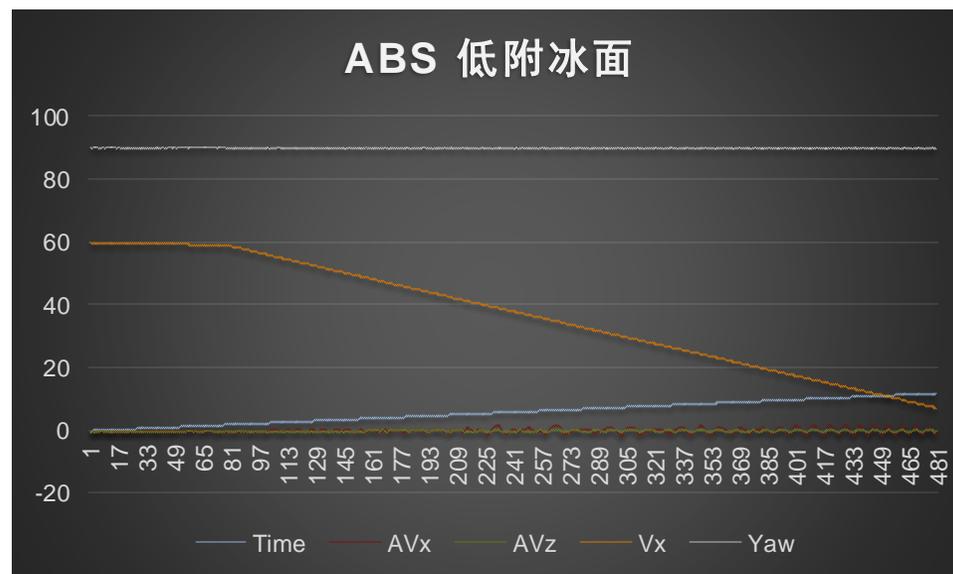
虚拟标定的实践应用

高低附ABS相关场景/工况的标定精度非常高，并且结合硬件HIL还能对ABS工作平顺性进行评估。

ABS 60kph低附制动工况数据分析



实车测试数据



虚拟标定数据

实车数据：车辆在低附制动时，在快速踩下制动踏板后由于轮缸压力较大但路面附着系数低导致轮速快速下降，在ABS作用下轮缸迅速降压，轮速快速恢复，整个过程中轮速无抱死现象，减速度无丢失感和明显波动。

虚拟标定：无逻辑错误，各信号传输正常，作动正常。

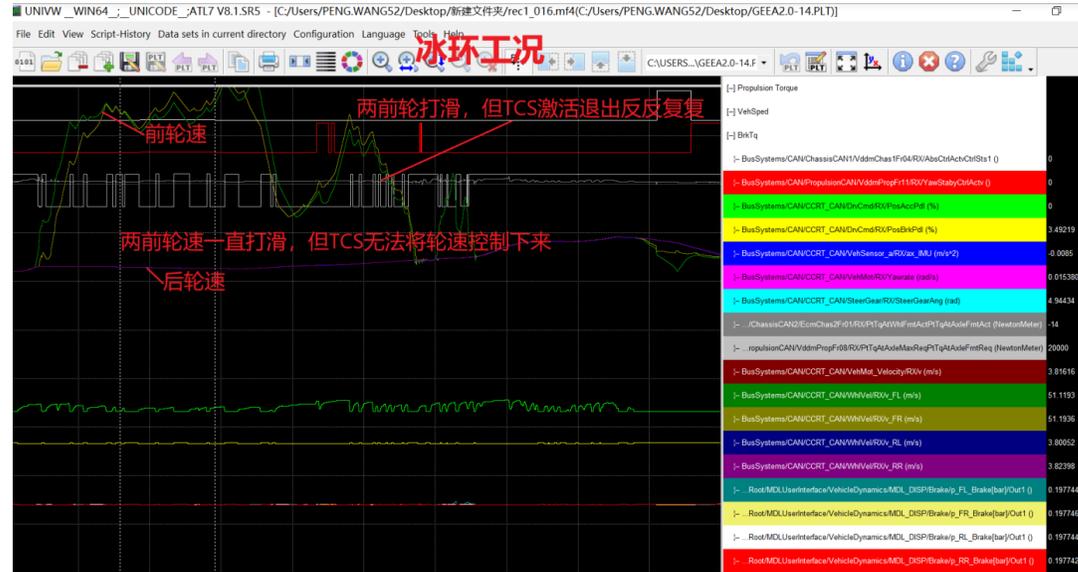
虚拟标定的实践应用

□ TCS 标定受限于虚拟动力系统扭矩反馈和实车的差异性，标定的精度有70%，但是也符合高附前的标定预期

TCS冰环全油门起步数据分析



实车测试数据



虚拟标定数据

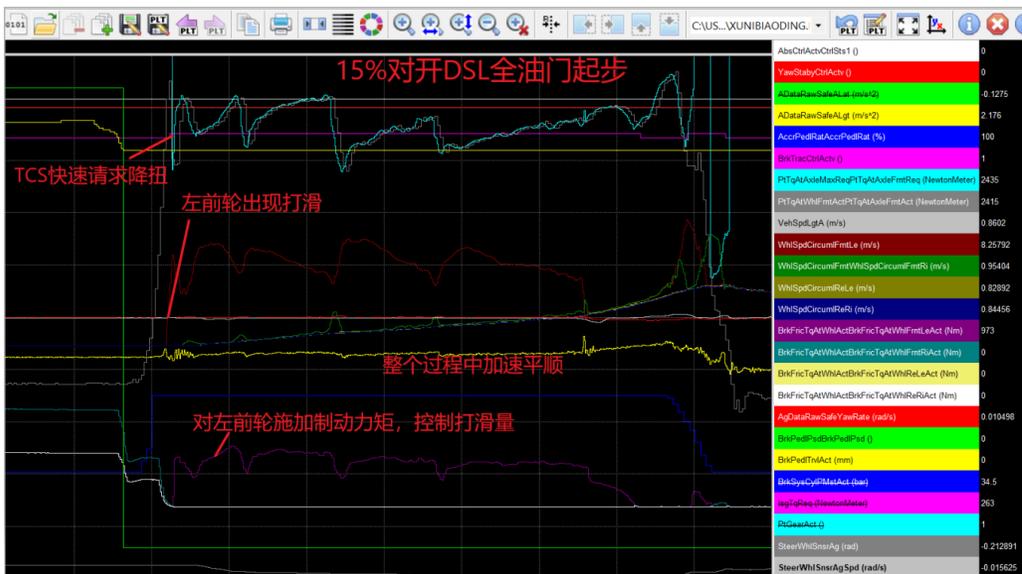
实车数据：全油门起步后，整车前轴实际扭矩瞬间升到2600N.m，两前轮开始打滑，此时TCS快速请求VCU降扭到194N.m，VCU立即响应扭矩请求，瞬间降扭到184N.m，随后打滑轮速慢慢压制下来，随后TCS根据车轮打滑情况和加速性能判别是否升降扭矩，TCS激活的整个过程中，VCU跟随TCS请求扭矩较好。

虚拟标定：整个过程中，两前轮一直在打滑且轮速飙升很高（40-60m/s），TCS请求VCU降扭激活退出反反复复，无法正常将打滑轮速控制下来。

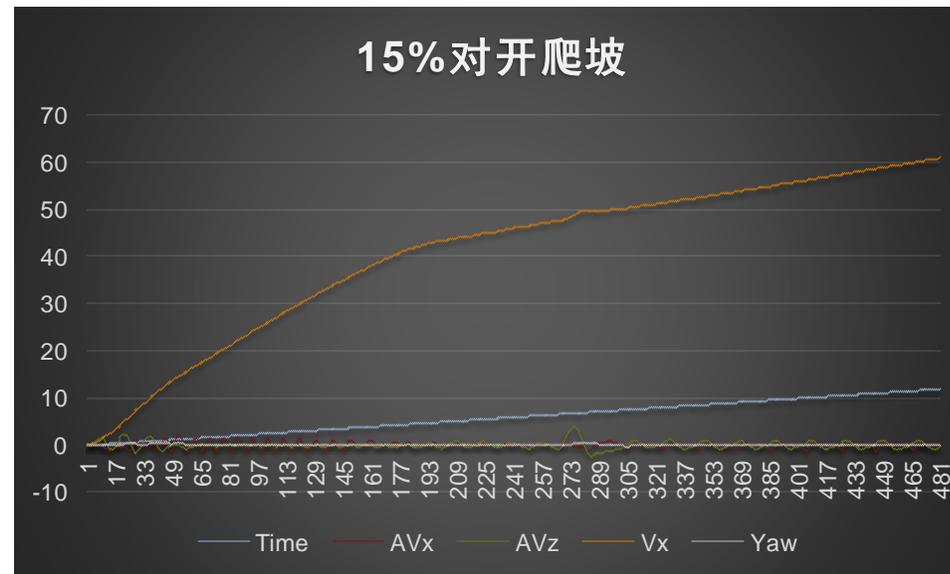
虚拟标定的实践应用

- TCS虚拟标定的重点可以聚焦在动力和制动系统联标的逻辑问题上，避免有新功能的逻辑错误。

TCS 15%对开 (DSL) 全油门起步工况数据分析



实车测试数据



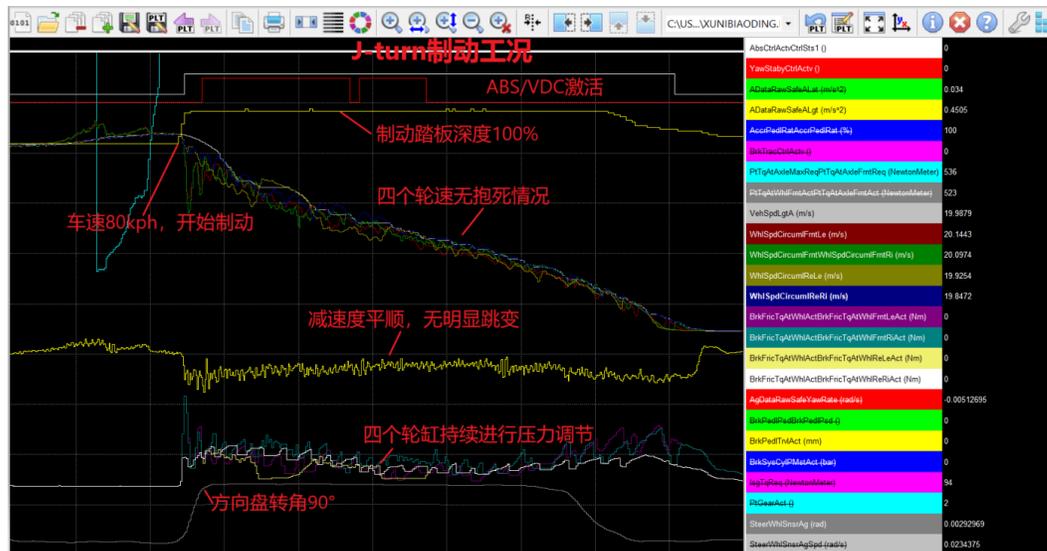
实车数据：车辆在15坡道对开全油门起步时，当低附侧车轮出现打滑现象后TCS快速请求降扭，同时BTC介入对打滑车轮施加制动控制其打滑量，确保整车爬坡平顺。

虚拟标定：无逻辑错误，各信号传输正常，作动正常，加速启动速度正常。

虚拟标定的实践应用

ESC 高动态虚拟标定是难度最大的部分，各模型的正常实时交互，信号与实际的拟合度都会影响标定精度。

80kph-J-turn制动工况数据分析



实车测试数据



虚拟标定数据

实车数据: 80kph-J-turn制动, ABS和VDC功能激活, 为了防止车轮出现抱死现象四个轮缸持续进行制动压力调节, 整个过程中, 四个车轮无抱死情况发生, 减速度平顺无突变。

虚拟标定: 整个过程中ABS和VDC功能激活, 但是左前轮出现异常抱死, 左前轮抱死时间较长, 减速度有明显波动, 四个轮缸压力调节出现异常。



GEELY
吉利控股集团

THANKS

张伦维

13637827283

GEELY

2024.04