

# MotionView/MotionSolve 在客车操纵稳定性开发中的应用

## MotionView/MotionSolve Application in Bus Handling Stability Development

古亮 曾锋

(厦门金龙旅行车有限公司, 福建 厦门 361006)

**摘 要:** 介绍了基于 MotionView 和 MotionSolve 进行整车操纵稳定性开发的流程。实践证明仿真结果具备较高的精度, 可为车辆操稳性能的改善提供高效的指导, 并降低研发成本、缩短研发周期。

**关键词:** MotionView; MotionSolve; 操稳性; 多体动力学仿真; 客车开发

**Abstract:** This article introduces the process of vehicle handling stability development based on MotionView and MotionSolve. Practical experience demonstrates that the simulation results have a relatively high precision, and it is able to guide the promotion of vehicle handling stability with high efficiency, reduce the R&D cost, and shorten the R&D period.

**Key words:** MotionView; MotionSolve; handling stability; multi-body dynamic simulation; bus development

### 1 引言

目前国内大多数客车企业的操纵稳定性开发工作, 一般都需要试验车辆长时间在专业试验场进行操稳性能测试。工程师根据测试结果, 改进设计方案, 将新方案运用到试验车辆上, 再次进行试验, 通过反复迭代、不断修正, 最终获得预期的整车操稳性能目标。

由于车辆是一个复杂的多体系统, 不同的评价指标之间存在相互关联、相互抑制、甚至相互矛盾的关系, 所以要使得车辆操稳性能相关评价指标均达到设计要求, 必然是一个长周期、反复迭代的过程, 这要求汽车企业投入大量的研发经费与时间成本。与此同时, 由于试验样车及其试验零部件的制造误差较大, 且一致性难以保证, 这也会造成试验数据的偏差。除此之外, 大部分试验是由人员驾驶样车进行测试, 也会因驾驶员操纵习惯或操纵不一致性造成试验结果的偏差。



图 1 中国·襄阳汽车试验场俯视图

计算机辅助工程（CAE）仿真系统可以较好地弥补实车在试验场进行操稳性试验时所引起的弊端。将 CAE 技术融入到车辆操稳性能开发过程中，可大大缩短研发周期、降低研发成本，并消除因制造工艺及人员操作所引起误差，使试验结果更易趋于收敛，从而便于工程人员发现影响试验结果的因素。

**MotionView** 是一个通用的多体动力学仿真前处理器和可视化工具，提供了一系列的汽车仿真专用模块，用于快速建立功能化的车辆模型，并对其多种性能指标进行仿真评价。用户可在虚拟的试验台架或试验场地中进行子系统或整车的功能仿真并对其设计参数进行优化。其汽车仿真模块含有丰富的子系统标准模板以及大量用于建立子系统模板的预定义部件和一些特殊工具。通过模板的共享和组合，快速建立子系统到系统的模型，然后进行各种预定义或自定义的虚拟试验。

**MotionSolve** 是一个功能强大的多体动力学求解器，支持运动学、静力学、准静力学、动力学、线性化、特征分析和状态矩阵输出。**MotionSolve** 的适用范围广泛，可以处理机械系统动力学、车辆动力学、隔振、控制系统设计、针对耐久性分析的载荷预期和稳健性仿真等多方面的问题，还可以对零自由度的机械系统和具有复杂非线性应变的模型进行仿真。

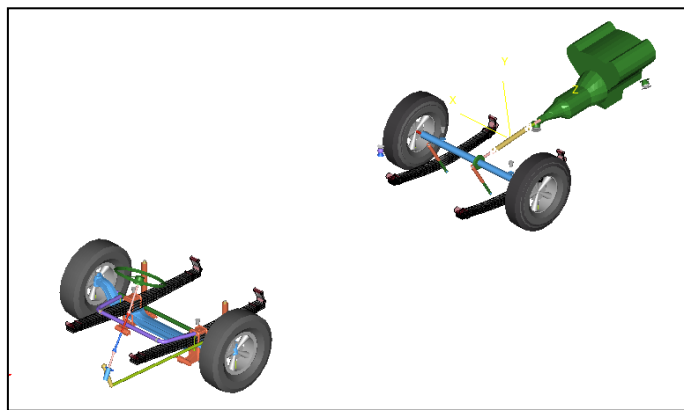


图 2 在 MotionView 中建立的车辆仿真模型

## 2 项目背景

某 8 米纯电中巴车型是我司主力销售车型，客户对于其各项整车性能指标要求严苛，操纵稳定性作为一项与车辆操控密切相关的性能，其优劣直接影响到车辆的行驶安全。在样车试制阶段，发现车辆存在高速行驶转向发飘、以及低速行驶回正性不足的情况，导致增加驾驶员疲劳感、影响车辆行驶安全。



图 3 在试验场拍摄的我司某 8 米纯电中巴样车图片

为快速、有效解决样车在试制阶段出现的操稳问题，项目组决定将 MotionView/MotionSolve 及相关仿真技术应用到该车的操稳性能开发中。在解决明显操稳性能问题的同时，确保其他操稳性能也达到车辆设计目标。

### 3 工程技术路线

本项目的具体技术路线如下：

(1) 进行样车台架 K&C 试验及操稳试验，获取试验样车的操稳性能的客观评价指标及悬架 K&C 特性指标。作为仿真模型验证精确度的对标数据。



图 4 样车进行悬架 K&C 试验

(2) 建立多体动力学模型。获取实车硬点位置、部件质量属性、部件间链接关系、弹簧刚度、减振器阻尼、轮胎特性、整车载荷分配等主要参数，在 MotionView 中先后建立前、后悬架模型，及整车模型。

	LEFT			Sym	RIGHT		
	X	Y	Z		X	Y	Z
Axle align	2.094	-703.046	-318.166	✓	Symmetric	Symmetric	Symmetric
Wheel CG	0.000	-943.000	-313.977	✓	Symmetric	Symmetric	Symmetric
Kingpin Orient	0.000	-943.000	-303.977	✓	Symmetric	Symmetric	Symmetric
Axle CG	0.000	0.000	-424.977				
Shock upr bush	257.627	-543.500	-39.388	✓	Symmetric	Symmetric	Symmetric
Shock lwr bush	257.627	-543.500	-599.071	✓	Symmetric	Symmetric	Symmetric
Knuckle_upper	5.190	-930.000	-213.300	✓	Symmetric	Symmetric	Symmetric
Knuckle_lower	-5.180	-954.700	-411.200	✓	Symmetric	Symmetric	Symmetric
Air Spring Up	2.094	-553.046	81.834	✓	Symmetric	Symmetric	Symmetric
Air Spring Lwr	2.094	-553.046	-268.166	✓	Symmetric	Symmetric	Symmetric
Strut Rod Upper	61.000	-542.000	687.500	✓	Symmetric	Symmetric	Symmetric
Strut Tube Lower	16.000	-623.000	304.500	✓	Symmetric	Symmetric	Symmetric
Spring upr	61.000	-542.000	676.500	✓	Symmetric	Symmetric	Symmetric
Spring lwr	50.000	-585.000	526.500	✓	Symmetric	Symmetric	Symmetric
Knuckle CG	5.173	-945.808	-307.079	✓	Symmetric	Symmetric	Symmetric
OTRB	165.000	-822.500	-485.000	✓	Symmetric	Symmetric	Symmetric
LeafRlef	-3.089	-430.000	-402.023	✓	Symmetric	Symmetric	Symmetric
Front Ground RM Marker	0.000	0.000	-821.977	✓	Symmetric	Symmetric	Symmetric
Front Susp Reference Point	0.000	0.000	-230.000				
Bumper_dummy	0.000	-450.000	-282.459	✓	Symmetric	Symmetric	Symmetric
Shock_dummy	-130.000	-700.000	46.500	✓	Symmetric	Symmetric	Symmetric
Shock bracket CG	7.300	-444.200	-491.800	✓	Symmetric	Symmetric	Symmetric
Shock bracket fix L	-3.001	-445.000	-401.947				
Shock bracket fix R	-3.001	-445.000	-401.947				
OTRB2	163.974	-892.273	-396.982	✓	Symmetric	Symmetric	

	LEFT						Sym
	Mass	Ixx	Iyy	Izz	Ixy	Ixz	
Front solid axle suspension							
Wheel (acc.)	0.500	17500.000	30000.000	17500.000	0.000	0.000	✓
Wheel hub	45.069	1212743.709	1879831.545	1212743.709	0.000	0.000	✓
Knuckle	34.314	593033.532	376784.085	399366.307	6719.914	-6025.678	✓
Axle	90.122	31143126.266	609377.711	30632379.557	0.000	17857.375	0.000
Bumper_dummy	0.001	10.000	10.000	10.000	0.000	0.000	✓
Shock bracket	20.458	260494.644	514807.807	319724.718	-20233.221	-25088.088	-4645.154

图 5 仿真模型中部分硬点位置及质量参数

(3) 反复调整模型参数，最终使仿真所获得的 K&C 及操稳性能评价指标与试验所测得的指标结果一致，即可证明仿真模型已达到使用精度的要求。

(4) 不断修改模型中的相关参数，例如硬点位置、轮胎侧偏刚度、减振器阻尼特性、弹簧刚度值、稳定杆扭转刚度值等。也可替换模型中相关部件。利用仿真软件可高效地进行多组次操稳试验的优势，快速分析修改方案对操稳性能的影响。在获得满意的操稳性能仿真结果后，将优化方案应用于试验样车中，验证优化方案的有效性及其稳定性。

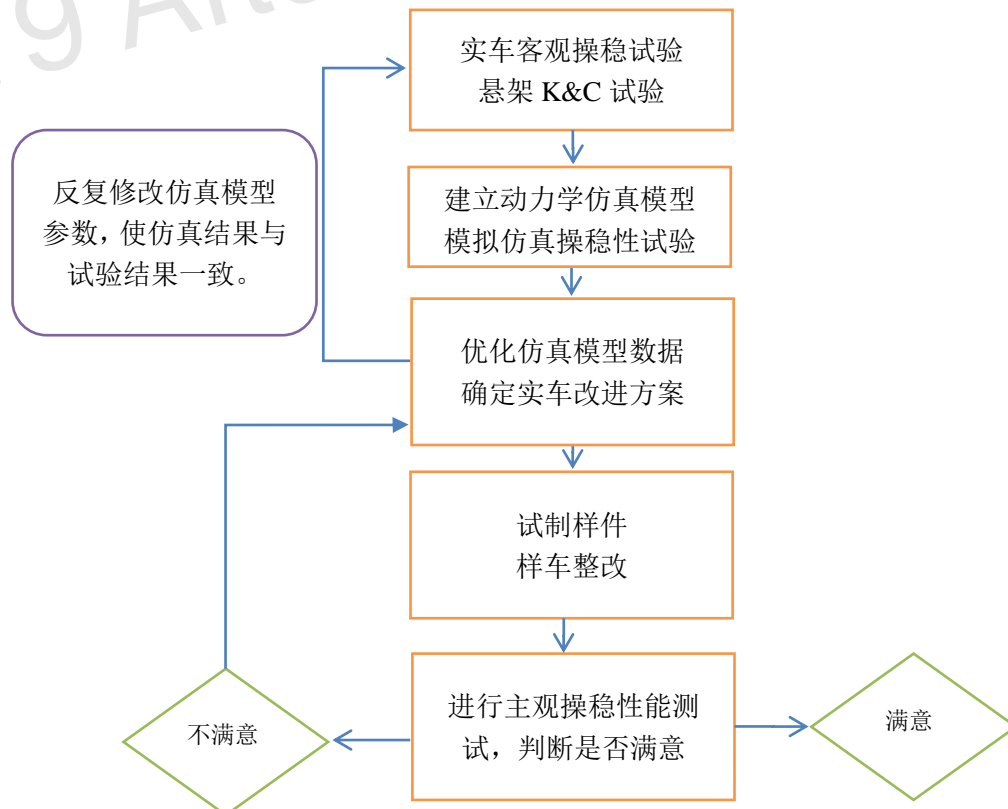


图 6 操稳性能仿真技术路线流程图

## 4 试验结果对标及设计优化

对于仿真分析而言,判断其性能优劣的最直接指标就是精准度,换言之仿真结果与试验结果是否一致。通过与试验样车的悬架部分 K&C 特性及整车操稳性能部分客观评价试验的对比,可以看出仿真试验结果与实车试验结果有较好的统一性。

由于此台样车在试制过程中,反馈的操稳性能的问题为高速行驶转向发飘,以及低速行驶回正性能不佳,所以我们重点关注与以上两种问题相关性较大的指标进行分析、优化。

悬架 K&C 特性我们选取车轮前束角、车轮后倾角、轮距、轴距随车轮垂向位移关系曲线进行对比分析,红色曲线为实车试验数据,蓝色曲线为计算机仿真模拟试验数据。对比数据如下:

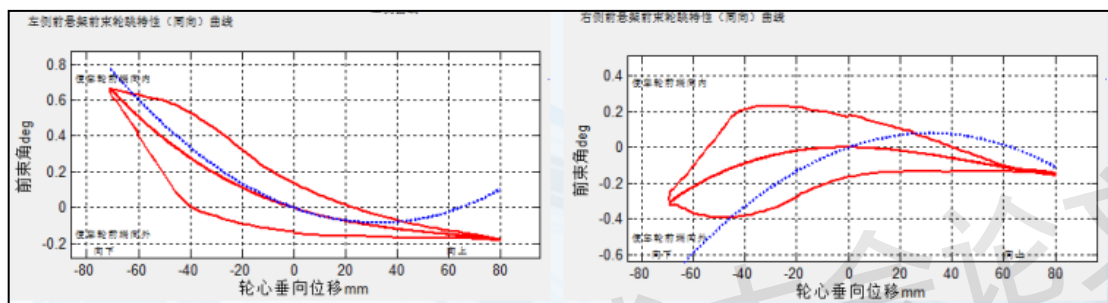


图 7 车轮前束角与轮跳位移关系曲线

通过对比,在轮跳-40mm 至 40mm 区间,两组曲线重合度较高。前束角的变化趋势及变化率会影响车辆直线行驶的稳定性以及转向稳定性。

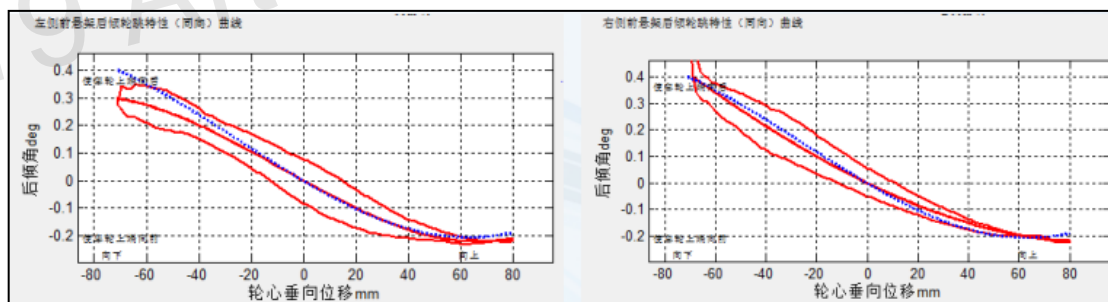


图 8 车轮后倾角与轮跳位移关系曲线

通过对比,后倾角曲线重合度较高。后倾角的变化趋势及变化率会影响车辆行驶时的回正性能。

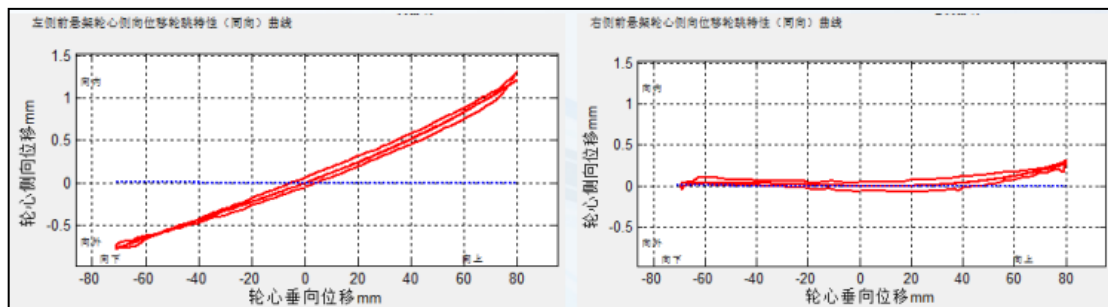




图 9 轮距变化与轮跳位移关系曲线

通过对比,左侧车轮重合度较差,右侧车辆重合度较高,经分析造成这种现象的原因为试验中操纵误差引起的。轮距的变化率及变化趋势影响车辆转向稳定性能。

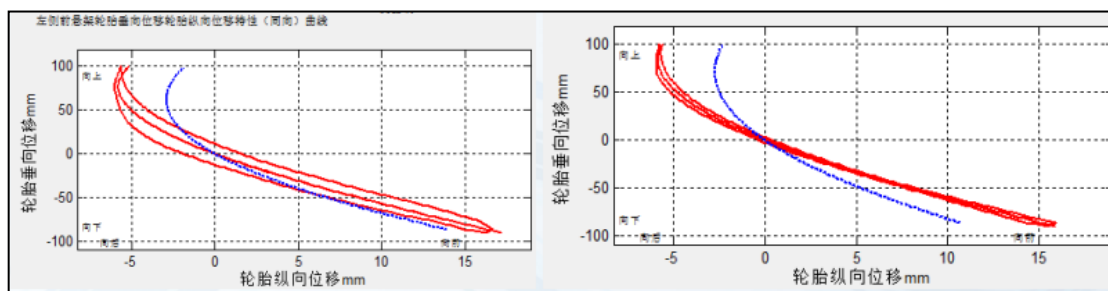


图 10 轴距变化与轮跳位移关系曲线

通过对比,在轮跳-40mm至40mm区间,两组曲线重合度较高。轴距变化的趋势与变化率对直线行驶稳定性以及刹车、加速行驶时平顺性能有影响。

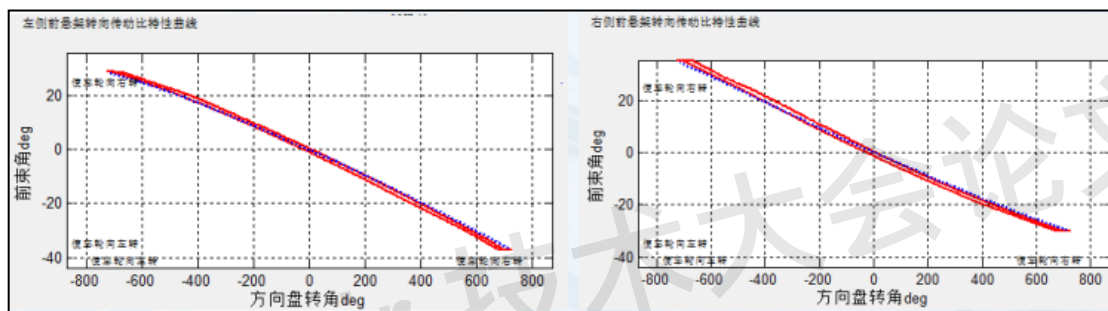


图 11 前轮转角与方向盘转角关系曲线

通过对比,两组数据重合度较高,验证转向系统建模的准确性。

通过对比仿真试验与实车试验的悬架 K&C 数据,不仅能够验证悬架建模的精准度,而且可以通过悬架 K&C 特性发现车辆操稳性能存在问题的原因。

整车操稳性能试验,我们选取稳态回转试验、中心区转向试验、蛇行试验。能够较为全面的验证整车模型的精准度,以及暴露出样车操稳性能所存在的问题。图 12-图 14 为仿真数据与实车试验数据的对比,红色为仿真数据曲线,蓝色为实车试验数据曲线。能够看出,两组曲线有着较好的统一性。

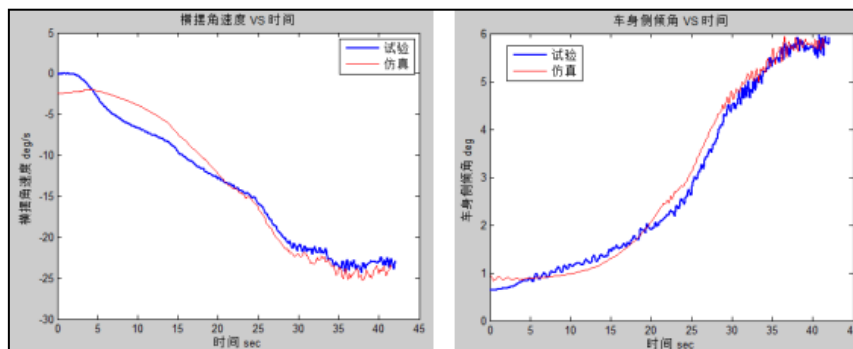


图 12 稳态回转试验数据对比

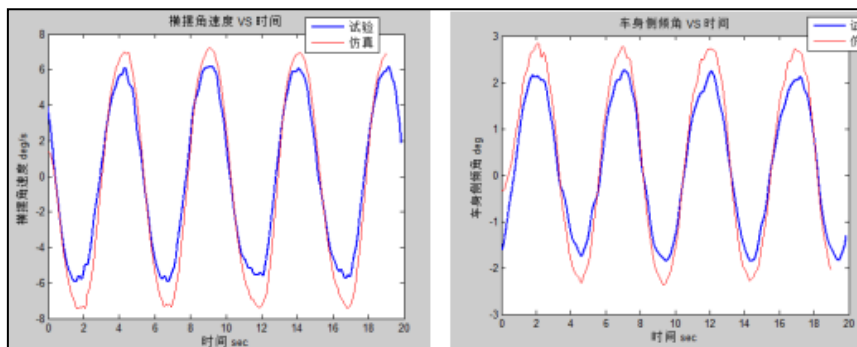


图 13 中心区转向试验数据对比

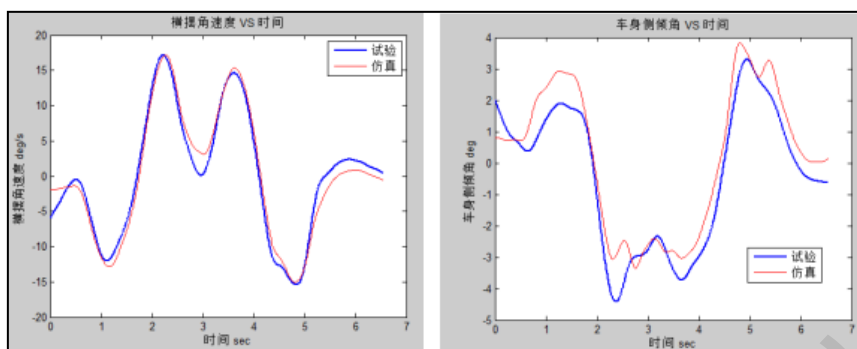


图 14 蛇行试验试据对比

通过悬架 K&C 特性试验数据以及整车操稳性能试验结果，能够分析出影响样车高速行驶转向发飘及低速行驶回正性不足的主要原因为车身横摆角速度响应慢、后倾角及内倾角值较小所导致的。

经过一系列分析及验证，项目组最终决定调整后倾角、内倾角初始值，调整前、后稳定杆刚度分配以及优化减振器阻尼特性。结果显示以上方案较好地改善了车辆操稳性能方面存在的问题。项目组在 MotionView/MotionSolve 仿真的协助下，高效地找到了解决问题的方案，并在实车上实施予以验证，效果良好。

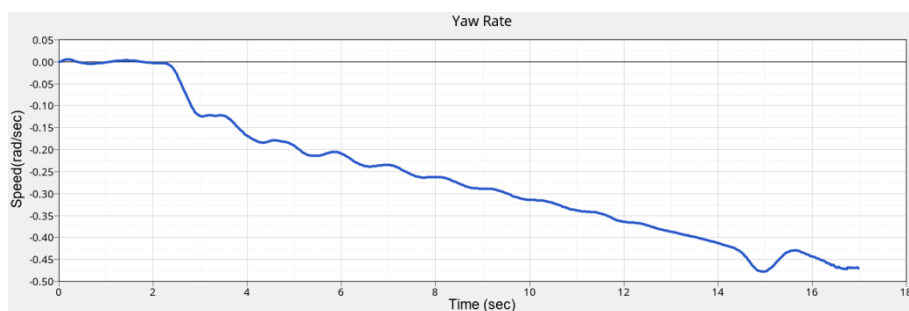


图 15 参数优化后的横摆角速度与时间关系曲线（稳态回转试验）

## 5 技术的优势与当前存在的问题

基于 MotionView/MotionSolve 的仿真技术应用于车辆操稳性能开发工作中，具备以下

几个方面的优势：

（1）相比传统的工作进程，这种工作模式大大降低了研发周期及开发成本。经估算，仿真技术使本项目的研发周期缩短  $2/3$ ，降低成本 50 万元；

（2）避免了人为驾驶操作造成的试验误差；

（3）将仿真分析前置，降低开发风险。样车开发均存在一定的风险性及不可预见性，在新车立项后，可先期进行车辆的模拟仿真分析，有效规避因定位、目标设定不合理而导致样车开发失败的风险。

我司已将基于 MotionView/MotionSolve 的仿真技术纳入到整车开发的标准流程，目前已成功在多款车型中得以使用，目前存在的主要问题是：由于轮胎模型数据不完整造成模拟仿真数据与实车试验数据在非线性区域即侧向加速度 $\geq 0.3g$  和中心区转向区域二组试验结果的一致性较差。针对以上问题，我司已增加投入，采购了相关硬件设备。通过修正轮胎参数，将来 MotionView/MotionSolve 仿真系统能够更好地应对非线性区域的仿真要求。

#### 参考文献

- [1] 袁磊，张峰，韩妮. 基于MotionView的非公路用车转向特性仿真分析[J]. 重型汽车, 2017(2):23-24.
- [2] MotionView及HyperStudy在悬架K&C特性设计中的应用, 陈文越, 郭伟, 沈福亮, Altair 2012 HyperWorks技术大会论文集
- [3] MotionView User's Manual