本文利用 Cruise 软件建立整车仿真模型及关键评价指标，并将整车仿真计算结果与试验数据对比分析，推断出影响商用车起步加速性能和经济性的关键因素，为同平台的变型变动产品设计开发提供了可靠的理论分析模型。

安徽江淮汽车集团股份有限公司 何斌

基于 Cruise 的某轻型商用车动力性和经济性仿真分析

随着经济高速发展及商用车产品升级换代频次加剧，各大整车厂都在抢抓市场机遇，新产品不断升级换代，产品不仅要符合市场用户需求且开发周期要短、投入要小。如何基于商用车用户思维、用户使用场景和需求，快速研发出更加精益的产品是当前研究的热点课题。

众所周知，商用车其重要属性是载货，动力性和经济性是其关键性能指标，是产品动力选型重要依据。在燃油车汽车构造中，动力选型关系到整条传动链，主要包括发动机、离合器、变速器、后桥、轮胎，动力性的关键指标决定了商用车用户在使用过程中运输效率的高低，直接影响用户购买价值、使用价值的转换。当前随着科技及计算机技术发展，理论仿真分析是汽车产品设计开发中很重要的手段和环节，其中 Cruise 是 AVL 公司开发出的一款仿真软件，真实模拟各种条件下汽车的运行，进行汽车动力性经济性及排放仿真计算，助力于新车研发及性能匹配改善，是行业常用仿真分析软件。该软件是通过建立系统的数字模型并对其实际工作状况进行仿真分析，能够很好地预测各种工况条件下的整车性能。但不同主机厂，分析仿真水平不同，如何提高仿真分析准确率是各主机厂研究和讨论的热点课题。

本文将结合某轻型商用车新品开发项目，运用 Cruise 软件对整车动力性进行模拟仿真，根据仿真结果和实际试验结果对比分析，得出同平台系列产品 Cruise 模型，同时推断出仿真分析中影响起步加速性能、经济性关键因素，从而为将来新产品的开发提供成熟的 Cruise 模型和可靠的数据支撑，为后续衍生产品开发缩短周期、减少开发费用打下基础。

整车 Cruise 模型的建立

以某轻型商用车为研究对象，驱动型式为 4×2，按照 Cruise 软件中模块化建模功能，依次搭建整车仿真模型，具体整车参数和整车 Cruise 模型如表 1 和图 1 所示。

整车动力经济性计算及结果分析

结合产品性能目标，根据建立的理论分析模型在 Cruise 里面设定计算任务，主要包括循环工况

表 1 整车关键参数

序号	关键部件	关键参数	参数值
1	整车参数	轴距 /mm	2 640
2		整备质量 /kg	1 790
3		满载质量 /kg	3 010
4		空气阻力系数	0.52
5		迎风面积 /m^2	3.2
6	变速器	各档传动效率	0.91 ～ 0.96
7	离合器	最大传递转矩 /N・m	400
8	后桥主减	主减速比	3.615
9		传动效率	0.96
10	轮胎	滚动半径 /mm	前 321/ 后 281
11		轮胎气压 /kPa	前 450/ 后 450

35-51 设计与仿真.indd 35 2022/8/16 16:20:43

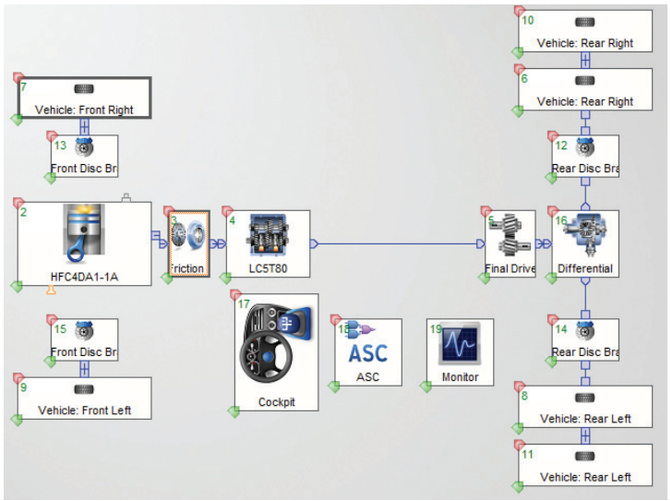


图 1 整车 Cruise 模型

（CycleRun）、稳态性能（Constant Drive）、爬坡性能（Climbing Performance）、加速性能（Full Load Acceleration）、最大驱动力（Maximum Traction Force）5个计算任务。各工况任务均在满载情况下开展，仿真结果及试验结果对比分析如下。

1. 商用车动力性评价指标及性能分析

商用车的动力性评价关键指标主要依据车辆使用工况、场景进行设定，一般主要有最高车速、爬坡能力以及加速性能。考虑商用车载货属性，通常考察其动力性主要是在满载状态下考量。

1）最高车速及最大爬坡度仿真分析与对比

最高车速是指汽车在平坦公路上行驶时能达到的最高车速（单位：km/h）。轻型商用车通常用于载货，中长途运输工况居多，因此一般结合高速限速要求及实际用户常用车速考虑，商用车最高车速一般要求在 100 km/h 左右，部分市场道路限速及用户使用场景，最高车速可达 120 km/h。本文研究对象设定最高档目标为 120 km/h，次高档目标为 110 km/h。

最大爬坡度是指汽车满载时最大爬坡能力（单位：%）。通常，爬坡度以坡度起止点的高度差与其水平距离的比值（正切值）来表示。针对轻型商用车中长途运输，可能有山区、地库等工况，一般要求在满载时最大爬坡度大于 30%。

本文研究的某轻型商用车产品，基于 Cruise 建模仿真理论分析及实际试验结果对比如图 2 和表 2 所示。

从理论仿真分析及试验结果对比看，研究对象的理论仿真和试验结果均满足目标值，最高车速及最大爬坡性能分析误差在 3% 以下，考虑试验过程中的误差等因素，仿真结果与试验结果比较接近，可满足商用车产品开发需求。

2）加速性能仿真分析与对比

汽车的加速性能通过用加速时间和加速距离来衡量，汽车加速主要针对其使用场景，在起步和超车时衡量，因此其关键指标主要包括汽车的原地起步加速时间与距离和超车加速时间与距离。

原地起步加速时间与距离是指汽车从静止状态下，从第一档起步，以设定的发动机转速换档逐步换至高档后达到某预定的车速所需的时间和距离，是衡量起步加速性能的指标。针对商用车，通常在发动机转速在 2 000 r/min 和额定转速下换档。

超车加速时间与距离是指在从某设定车速开始，用最高档或次高档节气门全开加速至某设定车速所需要的时间和距离，是衡量汽车超车时的加速能力的指标。

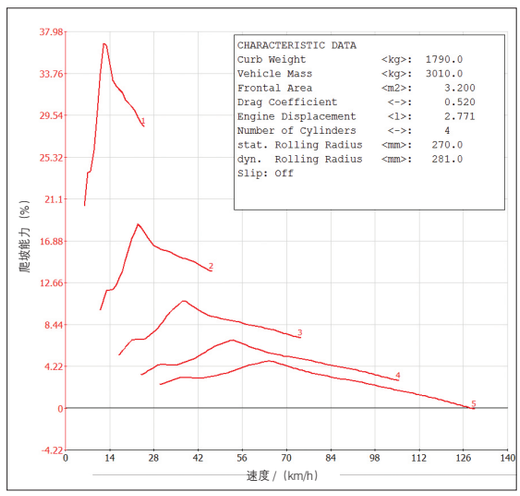


图 2 各档最高车速及爬坡性能分析

表 2 最高车速及爬坡性能仿真分析及试验结果对比分析表

序号	性能评价项目			单位	目标值	仿真计算值	试验值	误差	备注
1	动力性	最高车速（满载）	次高档	km/h	≥ 110	115.49	112.9	2.3%	
2			最高档	km/h	≥ 120	128.37	125.9	2.0%	
3		爬坡性能	最大爬坡	/	≥ 30%	36.8%	36.1%	1.9%	

35-51 设计与仿真.indd 36 2022/8/16 16:20:43

本文研究的某轻型商用车产品，其仿真理论分析及实际试验结果对比如图 3 和表 3 所示。

从对比分析表看出，超车加速性能仿真误差在 3% 左右，但起步加速性能仿真误差在 7% 左右。其中起步加速性能仿真误差较大，从该现象可以判断出起步加速性能受试验驾驶员操作换档影响较大。因为原地起步加速需要连续换档加速工况，发动机有响应时间且需要驾驶员操作，针对手动档产品，需要驾驶技术熟练且保持一致性，而超车加速时间是在最高档或次高档下进行加速的，不需要驾驶员换档。为了减小因驾驶技术不同熟练度，试验时可以固定一个驾驶员，拟测出其起步控制策略和换档控制策略换挡曲线，然后导入 Cruise 里面，从而提供仿真准确性。

2. 商用车经济性评价指标及性能分析

商用车燃油经济性是其主要且关键性能指标之一，是指汽车以最小的燃油消耗量完成单位运输工作量的能力。通常衡量商用车产品燃油经济性主要衡量指标有两个：最高档下，恒定车速下的等速油耗；另一个是标准工况下的综合油耗。通常可以标准循环工况有交通部综合油耗、工信部综合油耗以及国外标准工况测量方法，本文研究车型参考欧标的 NEDC（New European Driving Cycle）循环。

本文研究的某轻型商用车产品的燃油经济性，其仿真理论分析及实际试验结果对比如图 4 和表 4 所示。

从上述对比分析表和对比图可以看出，研究车型最高档等速油耗与试验值较为接近，最大误差在 4% 左右，NEDC 循环工况油耗误差在 6% 左右。结合以往理论分析经验，该仿真模型理论分析较为接近，可以为产品开发做参考。分析误差产生的原因，主要有两个方面：一方面仿真模型用的发动机的外特性曲线通常采用发动机台架试验所测得的理论稳态数据，而实际试验为整车工作时的瞬态数据，且有发动机附件损耗，因此会导致仿真结果与试验数据存在一定的偏差；另一方面，Cruise 仿真模型中系统零部件的传动效率输入为零部件理论值，而试验车的发动机、离合器、变速器、主减速比、轮胎等动力链的传动效率随着工况变化，这也会使仿真结果与实车试验存在一定误差。因此，要减小理论分析模型误差，必须不断积累同平台产品模型与实测数据，通常需要不断积累底盘阻力数

（下转第 42 页）

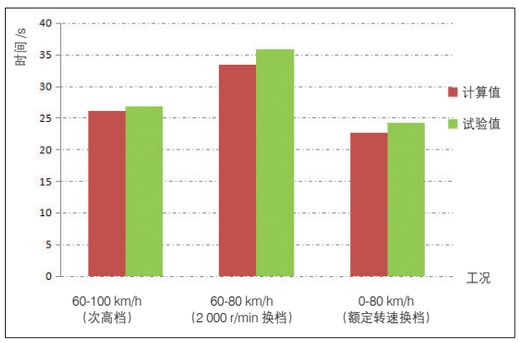


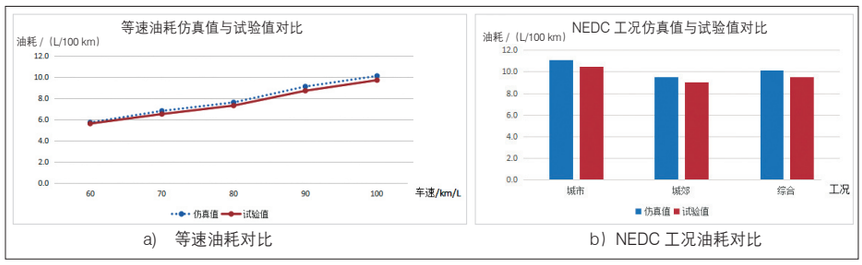
图 3 加速性能仿真与试验值对比图

表 3 起步加速和超车加速性能仿真分析及试验结果对比分析表

序号	性能评价项目				单位	目标值	仿真计算值	试验值	误差	备注
1	动力性	超车加速	次高档从 60 km/h 加速到 100 km/h	时间	s	⩽ 30	26.1	26.8	-2.7%	
2				距离	m	⩽ 620	593.2	614.1	-3.4%	
3		起步加速	起步换档加速到 80 km/h（2 000 r/min 换档）	时间	s	⩽ 38	33.5	35.9	-6.7%	
4				距离	m	⩽ 520	469.6	503.8	-6.8%	
5			起步换档加速到 80 km/h（额定转速换档）	时间	s	⩽ 28	22.8	24.3	-6.4%	
6				距离	m	⩽ 380	326.6	350.1	-6.7%	

表 4 燃油经济性仿真值与试验值对比分析表

序号	性能评价项目				单位	目标值	仿真计算值	试验值	误差	备注
1	燃油经济性	等速油耗	最高档	60 km/h	L/100 km	⩽ 5.8	5.7	5.6	1.8%	
2				70 km/h	L/100 km	⩽ 7.1	6.8	6.5	4.6%	
3				80 km/h	L/100 km	⩽ 8.2	7.6	7.3	4.1%	
4				90 km/h	L/100 km	⩽ 9.5	9.1	8.7	4.6%	
5				100 km/h	L/100 km	⩽ 11.0	10.1	9.7	4.1%	
6		NEDC 循环		城市	L/100 km	⩽ 11.0	11.1	10.5	5.7%	
7				城郊	L/100 km	⩽ 9.1	9.5	9	5.6%	
8				综合	L/100 km	⩽ 9.5	10.1	9.5	6.3%	



a） 等速油耗对比　　b）NEDC 工况油耗对比

图 4 燃油经济性仿真值与试验值对比图

35-51 设计与仿真.indd 37 2022/8/16 16:20:44

测试

通过上述设计完成系统的设计，按照功能样件进行台架测试。

1）整机试验：参考 GB/T18488.2-2015 进行测试，考察功率器件极限运行能力，需要关注功能衰退、器件损坏。

2）电压应力：在满足系统最高工作电压下，通过台架系统进行冷却水温 60℃入水试验，在保证基本功能情况下，需要满足峰值输出电流能力，监控尖峰电压，进行监测各个相位、关联器件、驱动芯片等状态。如在相间不均衡或短路时，尖峰电压稳定性及峰值，通过测试，考核杂散电感带来的关断尖峰电压预估范围值，进行测算，如图 6 所示，相间短路时，A 相尖峰 VCE 为 456 V。

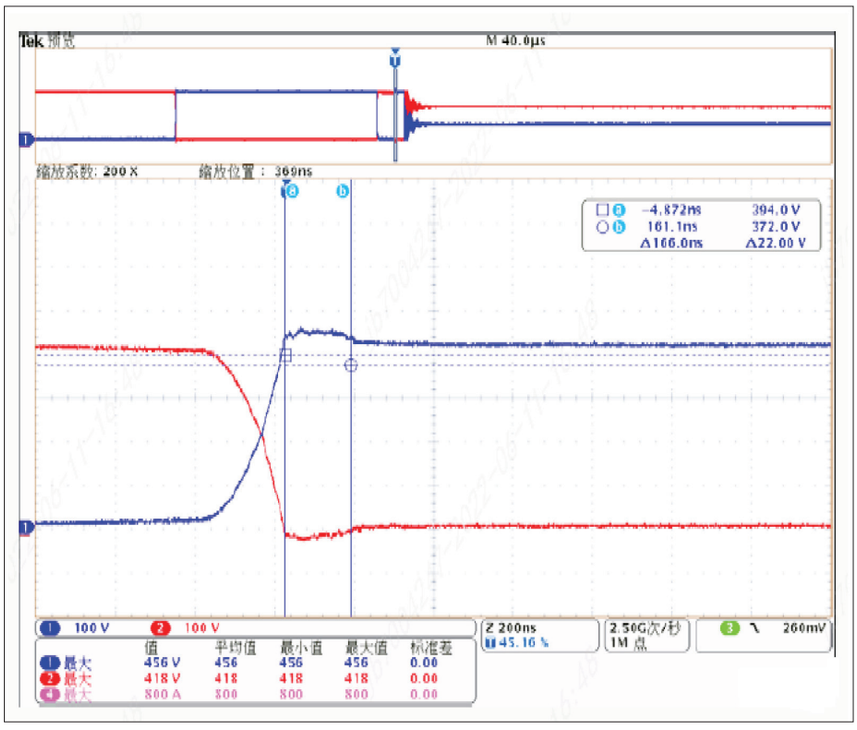


图 6 相间短路，A 相 VCE 尖峰

总结

相对于驱动电机控制器内部其他功能单元设计，DC-Link 回路系统复杂，与外部电压交互输入，与内部 IGBT 等功率器件提供能量传递，并保证回路电气设计，满足驱动能力要求，通过层叠母排设计、薄膜电容设计、DC-Link 母线电压采集及供电设计，对高压电源的共模特性进行设计校核，通过 PWM 的发波控制完成对驱动系统的系统管理。AI

（上接第 37 页）

据、整车能耗负载以及传动效率等数据，并进行修正，从而提高仿真的准确性。

结论

本文针对某轻型商用车产品，基于 Cruise 仿真软件，简要介绍了理论仿真分析基本流程和动力性经济性关键评价指标，并结合实际案例分析，得出本文研究产品的理论模型在最高车速、最大爬坡性、超车加速性能以及等速油耗方面，精度可达 3%，但在起步加速性能和 NEDC 循环工况方面误差在 6% 左右，基本上可以满足理论分析需求，可以给新产品开发提供参考分析依据。同时，在对比分析过程中可以推断出模型中发动机响应与实际驾驶员换档时机不匹配影响起步加速时间，动力链中发动机外特性曲线为台架稳态参数、传动系数均为定值，而实车发动机运行工况均为瞬态参数，随工况的不同实时变化从而导致油耗计算值误差较大。这些关键影响因素为理论仿真模型精度提高指明了方向，未来通过同平台数据不断积累，各参数系数不断修正，逐步提高理论仿真模型精度，为后期产品更新迭代提供可靠的设计依据，最终达到缩周期、减费用，甚至替代试验的目的。AI

35-51 设计与仿真.indd 42 2022/8/16 16:20:46