基于 CRUISE 的商用车自动变速器匹配整车性能分析设计与应用

徐世福　张瑞阳　金丹　杨富凯　王海云

陕西保利特种车制造有限公司

摘要：针对商用车自动变速器车辆匹配整车性能分析设计与研究的问题，我们利用 CRUISE 建立整车模型，进行匹配设计和仿真计算，分析车辆在不同工况下的性能。对关键零部件性能参数指标进行分析，通过试制试验、加载性能试验及实际工况使用验证，优化设计指标，最终实现商用车动力系统匹配设计及车辆的推广应用。

关键词：车辆模型；发动机；液力变矩器；自动变速器；驱动桥

0　前言

随着全球商用车的发展，市场对车辆产品的多样化、专业化和特种化需求加快，这对产品设计和开发提出了更高的要求。设计和开发需要快速响应市场，使得设计周期、试制和试验周期被压缩。

我们应用 CRUISE 软件进行整车性能分析和设计开发工作。CRUISE 是专用的车辆性能分析应用软件，对发动机、液力变矩器、自动变速器 (Automatic Transmission, AT)、驱动桥主减速器、差速器、制动器及车轮，进行与整车匹配模拟仿真分析。通过建立用户适合车辆的仿真计算模型，建立车辆满足工况的模拟仿真环境 [1]，建立任务项目和计算模型，模拟不同动力系统方案，优选出达到满足车辆动力性、经济性和安全性要求的动力系统匹配方案。

1　某商用车基本设计参数

1.1　整车基本参数及设计要求

某商用车动力系统主要由发动机、液力变矩器、自动变速器、传动轴、驱动车桥和车轮等组成，整车的其他功能模块主要有驾驶室、显示器以及加速防滑控制（Acceleration Anti-skid Control, ASC）系统组成 [2] 等。商用车整车基本参数见表 1，商用车整车性能设计参数见表 2。

1.2　发动机基本技术参数

发动机采用直列、水冷、四冲程、涡轮增压中冷和高压共轨式柴油机，发动机型号为 WP6.220E50，其成熟可靠、经济性好动力性强，适合匹配目标车型 [3]。最大功率 162 kW，额定转速 2300 r/min，最大转矩 850 N·m，最大转矩转速（1200 ~ 1600）r/min。

表 1　商用车整车基本参数

参数名称	数值	参数名称	数值
整备质量 /kg	9000	空气阻力系数 C_D	0.8
满载质量 /kg	15000	迎风面积 A/m^2	6.5
装备质量前 / 后轴荷 /kN	50000/100000	滚动半径 / (r/mm)	527
整车动力传动系统效率 η_t	0.9	主减速器速比 i	5.262
滚动阻力系数 f	0.02	旋转质量换算系数 δ	1.2

表 2　商用车整车性能设计参数

最高车速 / (km/h)	⩽ 120	最大加速度 / (m/s^2)	⩽ 9.2
最大爬坡度 / (%)	⩽ 55	巡航油耗 /(L/100 km)	⩾ 18
制动距离 (30~0 km/h)/m	⩽ 15	UDC 续驶油耗 / (L/100 km)	⩾ 25

1.3　液力变矩器基本技术参数

液力变矩器由泵轮、涡轮、导轮和变矩器壳体组成，具有自动适应性、转速无级变速性、整车低速稳定性、减振隔振性和没有机械连接结构磨损的优良特性。液力变矩器具备结构紧凑、动力强劲、效率高以及可靠性好的特点，可以改善驾乘的舒适性，提高发动机和车辆传动系统的使用寿命，具有优异的产品性能和可靠的质量保证，失速变矩比 1.9。

1.4 自动变速器基本技术参数

该商用车采用自动变速器，可以满足车辆低速爬坡、最高车速和经济高效区域的要求。由于采用自动变速器传动方案，使车辆动力性、可靠性、经济性好和安全性得到显著的提升，能够显著提升车辆的驾驶舒适性和运营效益。

目前 6 档是行业主流的兼具成熟性、可靠性以及使用范围较广的自动变速器，可以同时满足良好的低档爬坡性和高档高速性的要求 [4]，所以选择此 6 档变速器，额定输入转速 2400 r/min，最大输入转矩 1000 N·m，最高输入转速 2800 r/min。

1.5 驱动桥基本技术参数

商用车驱动桥采用铸造桥壳，是市场主流的、成熟可靠的承载式驱动桥，具备良好的性能。额定轴荷 100 000 kN，速比 5.262，输入、输出转矩分别为 5235 N · m 和 30000 N · m。

2 车辆模型的建立

CRUISE 软件具有模块化的建模结构，整车传动系的模拟仿真模型主要有如下模块组件：整车（Vehicle）、发动机（Engines）、变矩器（Torque Converter）、自动变速器（Gearbox）、差速器（Differential）、车轮（Wheel）和座舱（Cockpit）等，根据整车车辆建模仿真的类型，分别建立对应模块 [5]，如图 1 所示。

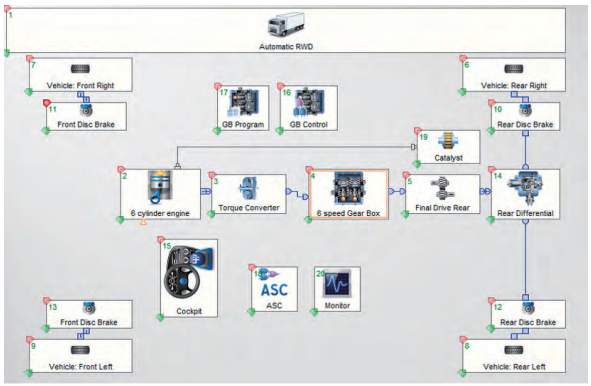

图 1 用 CRUISE 建立模型模块

2.1 整车模块建立

整车模块的主要数据包括油箱容量、装备质量、满载质量、前轴升力系数、后轴升力系数、牵引系数、迎风面积、车轮的动载荷、滚动阻力、空气阻力、加速阻力以及坡道阻力等。

其他数据包括车辆不同的负载（空载、半载和满载）条件下的重心距离、重心高度、质量中心距前轴的距离和前后轴距离的参数。

2.2 发动机模块建立

发动机模块要制定发动机的外特性、燃油消耗特性，发动机通过曲线和图形来显示发动机模拟的特性。发动机模块的主要数据信息：发动机排量、工作温度、怠速转速、最高转速、转动惯量、燃油类型、燃油密度和热值等。

另外，还需要根据发动机基本参数、外特性及万有特性参数进行数据分析。

2.3 液力变矩器模块建立

液力变矩器模块中的特性窗口数据主要有：转动惯量、液力变矩器锁止离合器传递的最大转矩和转矩转换数据值 [6]。

2.4 自动变速器模块建立

自动变速器模块主要参数包括档位数、传动比、输入转动惯量、输出转动惯量、输入齿、输出齿以及传动效率，各档效率都是 0.95，1~6 档位速比分别为 3.974/2.318/1.516/1.149/0.858/0.674。

2.5 主减速器模块建立

主减速器的作用是减速增矩、改变转速方向以保证汽车的正常行驶，通过传动比的改变达到预期的汽车动力性，主减速器模型 (Single Ratio Transmission)，传动比（Transmission Ratio）为 5.262。

2.6 差速器模块建立

在汽车传动系统中，接受发动机输出的传动动力通过差速器分配给后驱动桥上的车轮。差速器模块输入转矩分配系数、输入输出转动惯量和差速器锁止，转矩分配系数（Torque Split Factor）为 1.0。

2.7 制动器模块建立

制动器主要是用于车辆驻车制动作用，可以保证车辆的停止。制动器模块 (Brake) 主要信息包括：制动有效面积、制动系数、制动摩擦半径、制动效率和输出转动惯量。

2.8 车轮模块建立

车轮的主要作用是承载整车质量。车轮模块的主要信息：输出转动惯量、摩擦系数、承载力、载荷修正系数、静压力半径和滚动半径。静态滚动半径（Static Rolling Radius）为 507 mm，动态滚动半径（Dynamic Rolling Radius）为 527 mm。

3 车辆动力性仿真分析

3.1 仿真任务的制定

根据整车使用性能分析要求，制定计算任务主要

是最高车速运行持续（Constant）、全负荷加速性能（Full Load）、爬坡度（Climbing）、车速巡航（Cruising）、制动（Braking）和道路循环（Cycle Run）[7]，分别对这 6 个任务进行模拟计算仿真。

3.2 仿真结果分析

3.2.1 最高车速仿真

最高车速的仿真结果是通过运行持续（Constant）的任务，通过计算可以知道商用车满载最高车速为 113 km/h，如图 2 所示。

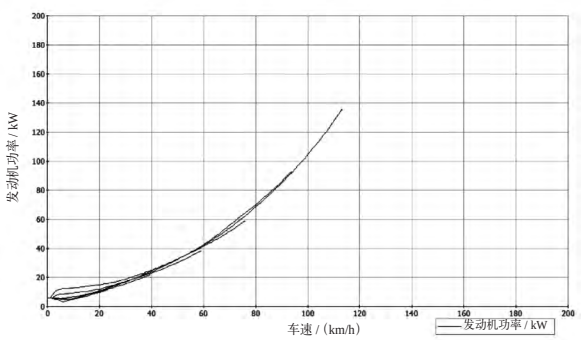

图 2 最高车速仿真曲线

3.2.2 加速性能仿真

加速性能是通过全负荷加速性能（Full Load）中各档最大加速度、原地起步连续换档加速时间和超车加速时间运算三方面进行衡量判断 [8]。

以下是仿真得到的相关数据，也可得出超车加速时间仿真计算结果，但为了更好地反映优化前后效果，只是选出 0-60 km/h 的原地起步加速时间曲线，1 档加速度为 6.54 m/s，由此可以看出该车辆的加速性能、动力性好，如图 3 所示。

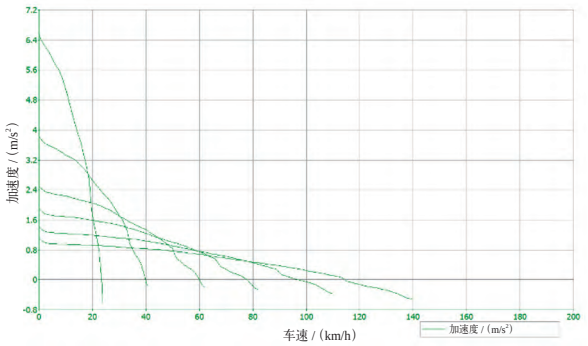

图 3 加速性能仿真曲线

3.2.3 爬坡性能仿真

爬坡性能一般用爬坡度（Climbing）来表示，即是在不同档位下行驶在良好路面，汽车动力传动系统匹配分析及其关键参数，车辆（满载状态下）所通过的最大坡度。爬坡度经软件仿真分析计算，其仿真结果如图 4 所示。

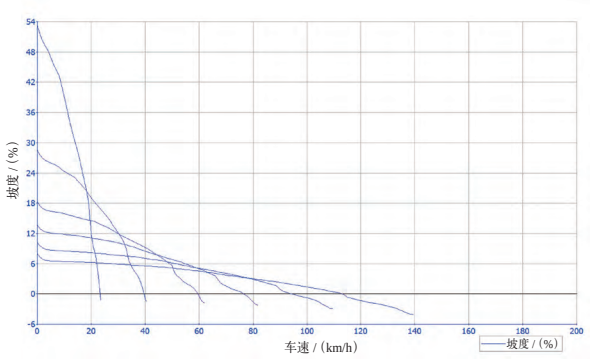

图 4 爬坡性能曲线

由结果数据分析可知，该商用车的爬坡性能好，最大的第一档爬坡度达 53.34%，满足设计要求，因此，车辆的爬坡性能优异。

3.2.4 巡航行驶性能仿真

车辆保持 70 km/h 的车速巡航（Cruising）行驶的情况下，此时车辆巡航性仿真油耗为 19 L/100 km，车辆经济性良好。

3.2.5 制动性模拟仿真

车辆进行制动（Braking）时，车速度从 30 km/h 降到 0 km/h，时间为 3.37 s，制动距离为 14 m，计算结果如图 5 所示。

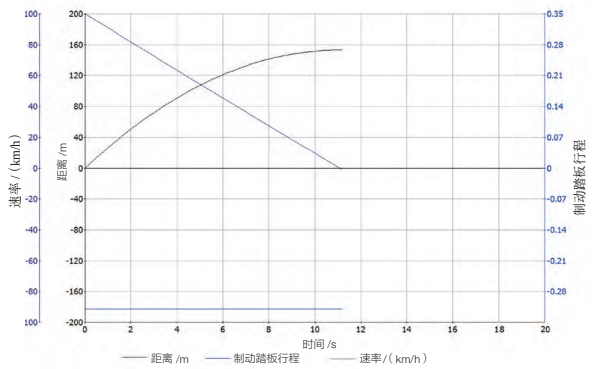

图 5 制动性仿真曲线

3.2.6 多工况循环油耗循环工况仿真

道路循环（Cycle Run）工况油耗 (UDC) 是指汽车在道路上按照一定的规范 (包括行驶时间、行驶速度、换档及制动等) 进行行驶。

UDC 工况主要为模拟城市路况而设定，工况数据以时间为函数，包括：车速、档位、换档时间、起步信号、最高和最低车速和停止信号 [9]，UDC 循环工况

100 km 油耗量计算结果为 25.6 L/100 km，车辆经济性达到设计要求。

4 试验验证

多工况油耗量的计算采用的是我国颁布的重型商用车瞬态循环工况，即 C-WTVC 循环工况（GB/T 27840—2021）。试验样车按 C-WTVC 循环工况进行试验，试验基本参数见表 3 [10]。

表 3 主要性能指标参数值

性能指标	设计值	模拟值	试验值	（试验值 / 模拟值）重合度（%）
最高车速 /（km · h）	120	113.00	112.00	99.1
最大爬坡度 /（%）	55	53.34	54.00	101.2
最大加速度 /（m/s^2）	6	6.54	6.80	104.0
制动距离 /m	15	14.00	14.50	103.5
巡航油耗 /（L/100 km）	18	19.00	19.65	103.4
UDC 油耗 /（L/100 km）	25	25.60	26.50	103.5

通过车辆实际试验结果可知：实际验证的商用车的各项指标已经达到设计值，车辆的最高车速、满载 UDC 续航以及巡航续驶里程指标都优于理论设计值，超过了车辆开发的目标指标，最大爬坡度与设计值持平，满足车辆的使用要求，车辆整车的可靠性、经济性、动力性、安全性和稳定性都处于良好的水平，总体设计指标与性能满足使用要求。

通过模拟商用车设计仿真结果与实际车辆试验数据的对比分析可知，仿真结果与实际值误差基本在 5% 以内，这说明 CRUISE 软件建模分析的正确性、可行性和准确性，通过 CRUISE 软件进行建模能够指导车辆设计工作，同时加快了设计的周期。

5 结论

针对商用车客户使用要求，我们需要根据整车性能设计目标，研究发动机、液力变矩器、自动变速器、驱动桥主减速器、驱动桥差速器、驱动桥制动器、车轮与整车性能的匹配关系，通过模拟计算进一步优化设计指标及车辆性能验证工作，达到车辆性能设计的最佳设计指标，满足车辆的动力性、经济性、安全性及续驶里程的使用要求。

通过车辆实际试验，我们验证了整车仿真模型通过 CRUISE 软件计算分析结果的正确性以及重合度。

这种分析方法对商用车传动系统匹配具有良好的指导价值，产品设计满足客户需求，缩短了产品设计开发周期。基于 CRUISE 软件的整车性能分析方法提升了车辆设计能力，提升了车辆设计效率。

参考文献

[1] 陈国栋，李岩，武斐，等．基于驾驶需求的自动变速器换档规律标定方法研究 [C].2016 中国汽车工程学会年会论文集，2016.

[2] 魏泽威．基于 CRUISE 仿真分析的整车性能的提升 [C]. 第十四届河南省汽车工程科技学术研讨会 ,2017.

[3] 王营超．某牵引汽车动力传动系统匹配分析及其关键参数优化 [D]. 长沙：湖南大学，2019.

[4] 张文广，张振东，兰志波，等．应用 CRUISE 的商用车传动系统匹配研究 [J]. 现代制造工程，2015,423(12):34-37.

[5] 武玉维，王铁，李萍锋，等．基于 CRUISE 软件的重卡动力总成匹配分析 [J]. 农业装备与车辆工程，2010(8): 6-9.

[6] 冯勇，阳林，彭仁杰，等．基于 CRUISE 的工程自卸车动力配置选型分析与优化 [J]. 客车技术与研究，2014, 36(1): 4-6.

[7] 刘志刚，赵治国．基于 CRUISE 仿真的实车验证及 AT 换档规律优化 [J]. 机械工程与自动化 ,2016,000(4): 80-82.

[8] 沈涛，夏鑫鑫，李飞，等．车辆液力变矩器及经济性换档规律的研究 [J]. 汽车实用技术，2018(3): 45-48.

[9] 朱剑平．基于 CRUISE 软件的车辆性能分析与优化 [J]. 汽车实用技术，2012(3): 41-43.

[10] 全国汽车标准化技术委员会（SAC/TC 114）．重型商用车辆燃料消耗量测量方法 :GB/T 27840—2021[S]. 北京：中国标准出版社，2021.