

重型商用车节能关键技术分析

史祥东^{1,2}, 朱江苏^{1,2}, 尹东东^{1,2}, 王福龙², 宁廷会^{1,2}, 甄雷^{1,2}

1. 内燃机与动力系统全国重点实验室, 山东 潍坊 261061; 2. 潍柴动力股份有限公司发动机研究院, 山东 潍坊 261061

摘要:为降低重型商用车燃油消耗量,采用 MATLAB 软件综合评估柴油机高效清洁燃烧、内燃机余热回收非制冷剂朗肯循环等各项节能技术,结合整车转毂试验测试基准车型、演示样车的燃油消耗量及采用不同节能技术对应的燃油消耗量下降幅度,并对 2 种车型的燃油消耗量进行道路测试。结果表明:对于基准车型, MATLAB 软件仿真得到重载柴油机高效清洁燃烧技术的综合评估效果最好,单车能源网络优化管理技术、卡车空气动力学减阻技术、卡车低滚阻轮胎技术的综合评估效果较好;整车转毂试验表明采用节能技术的演示样车在世界重型商用车瞬态循环工况、中国半挂牵引车列车行驶工况的节油率为 11.79% 和 12.46%,低滚阻轮胎技术节油效果最好,燃油消耗量可减少 1.42 L/100 km;采用节能技术优化后,综合节油率为 12.17%。

关键词:重型商用车;关键节能技术;整车经济性;实车试验

中图分类号:TK421

文献标志码:A

文章编号:1673-6397(2024)03-0081-05

引用格式:史祥东,朱江苏,尹东东,等.重型商用车节能关键技术分析[J].内燃机与动力装置,2024,41(3):81-85.

SHI Xiangdong, ZHU Jiangu, YIN Dongdong, et al. Key technologies of energy saving for a heavy-duty commercial vehicle[J]. Internal Combustion Engine & Powerplant, 2024,41(3):81-85.

0 引言

随着我国经济快速发展,中重型商用车应用逐渐广泛,目前我国中重型商用车数量占汽车总量的 13.9%,石油消耗占汽车石油消耗总量的 49.2%;美国中重型卡车数量占美国汽车总量的 4%,石油消耗占汽车石油消耗总量的 25%,预计到 2040 年,世界中重型商用车石油消耗占汽车石油消耗总量的比例将增加到 65%,成为交通运输业 CO₂ 的最大排放源^[1-3]。随着 2018 年实施的《重型商用车辆燃料消耗量限值》^[4]及 2020 年提出的《重型商用车辆燃料消耗量限值》^[5],加严了各类车辆的燃料消耗量限值,2020 年重型商用车燃料消耗量限值较 2018 年重型商用车燃料消耗量限值降低了 12%~16%。提高中重型商用车燃油经济性,降低 CO₂ 排放,是研究的一个方向。

在美国能源部 2010 年联合发起的 SuperTruck 计划下,沃尔沃、康明斯和福莱纳分别从变速器升级、结构优化、空气动力学优化、轻量化、低滚阻轮胎等方面系统研究了卡车节能关键技术。沃尔沃采用铝制车架使整车效率提高了 88%,燃油经济性提高了 70%;康明斯通过提高发动机热效率、降低整车空气阻力、提高传动效率等,使 8 级牵引重型卡车整车燃油经济性至少提高了 70%,货运效率提高了 86%;福莱纳通过空气动力学优化、轻量化设计和低滚阻轮胎设计,实际道路测试的整车效率提高了 115%,制动效率提高了 50.2%^[6-8]。

本文中以某商用车为例,围绕先进内燃机及其动力传动系统、卡车能源管理、混合动力系统关键技术、卡车节能关键技术等,开展关键节能技术应用研究,并通过整车转毂试验和道路测试进行验证。

收稿日期:2024-03-23

基金项目:政府间国际科技创新合作项目(2022YFE0100100)

第一作者简介:史祥东(1988—),男,山东青岛人,工程师,主要研究方向为整车性能开发及匹配,E-mail:shixd@weichai.com。

1 重型商用车燃油经济性优化

1.1 基准车型

重型商用车按应用场景分为8个细分市场,重型商用车细分市场数量占比如表1所示。

表1 重型商用车细分市场数量占比

单位:%

物流配送占比	港口运输占比	煤炭运输占比	危化运输占比	轿运车占比	重载运输占比	冷链运输占比	快递运输占比
55.00	12.50	12.50	7.50	7.50	2.50	1.25	1.25

由表1可知:重型商用车细分市场以物流配送为主,市场数量占比为55%。物流配送市场发动机功率为276~338 kW,其中功率为316.05 kW的发动机占比为32%。结合重型发动机市场特征及燃油经济性分析,选择装配发动机排量为12 L、变速箱为12挡直接挡、驱动比为3.083的6×4牵引车为基准车型,该车型较其他配置车型的燃油消耗量至少降低了0.3 L/(100 km)。

1.2 关键节能技术评估

目前重型商用车关键节能技术主要围绕先进内燃机及其动力传动系统、卡车能源管理、混合动力技术、卡车节能关键技术的研究成果及可应用性4个方面开展^[9-12]。基于已有模型,结合MATLAB软件,按照整车实际道路燃油消耗量节油目标10%以上,分别采用重载柴油机高效清洁燃烧技术、重载卡车内燃机余热回收非制冷剂朗肯循环技术、单车能源网络优化管理技术、多车与车队行驶能效优化方法、混合动力动态协调过程关键技术、卡车空气动力学减阻技术、卡车轻量化技术、卡车低滚阻轮胎技术等8项关键节能技术,从节能效果、布置分析、应用前景、综合评估进行数据分析^[13-15]。

其中,整车燃油消耗量降低幅度最大的节能效果记为5个★,车辆结构布置最容易的节能技术记为5个★,应用前景主要基于重型商用车目前的研究现状进行分析,综合评估过程中节能效果占比50%,布置分析占比25%,应用前景占比25%,各项关键节能技术评价结果如表2所示。

表2 各项关键节能技术评价结果

分类	节能技术	节能效果	布置分析	应用前景	综合评估
先进内燃机系统	重载柴油机高效清洁燃烧技术	★☆	★★★★★	★★★☆☆	★★★★★
	重载卡车内燃机余热回收非制冷剂朗肯循环技术	★	★★	★☆☆	★☆☆
卡车能源管理	单车能源网络优化管理技术	★☆	★★★★☆	★★★★★	★★★★★
	多车与车队行驶能效优化方法	★★	★★★★★	★★★	★★
混合动力系统关键技术	混合动力动态协调过程关键技术研究	★★★★★	☆	★	★
卡车节能关键技术	卡车空气动力学减阻技术	★☆	★★	★★	★★★★★
	卡车轻量化技术	☆	★★★	★★★★★	★
	卡车低滚阻轮胎技术	★★	★★★	★★☆	★★★★★

注:★越多,相应的效果越好;☆代表半个★。

由表2可知:对于基准车型,采用重载柴油机高效清洁燃烧技术的综合评估效果最好,单车能源网络优化管理技术、卡车空气动力学减阻技术、卡车低滚阻轮胎技术的综合评估效果也较好。

1.3 整车转毂试验

结合上述分析,综合重载柴油机高效清洁燃烧技术、单车能源网络优化管理技术、卡车空气动力学减

阻技术、卡车低滚阻轮胎技术,考虑基准车型车辆布置、系统协调耦合等方面,采用高效清洁燃烧技术、动力总成匹配技术、电控附件策略优化、低滚阻轮胎、低黏度润滑油、油门转矩控制、空气动力学优化完成演示样车的开发。

采用重型商用车瞬态循环(China-world transient vehicle cycle,C-WTVC)和中国半挂牵引车列车行驶工况(China heavy-duty commercial vehicle test cycle for tractor-trailer,CHTC-TT),按照文献[16]规定,对基准车型及演示样车的燃油消耗量进行整车转毂试验测试对比,基准车型及演示样车的主要技术参数及燃油消耗量测试结果如表3所示。

表3 基准车型及演示样车的主要技术参数及燃油消耗量测试结果

不同车型	整车整备质量/t	后桥速比	发动机排量/L	最大扭矩/(N·m)	转速/(r·min ⁻¹)	C-WTVC 工况燃油消耗量/[L·(100 km) ⁻¹]	CHTC-TT 工况燃油消耗量/[L·(100 km) ⁻¹]
基准车型	8.8	3.083	11.726	2 060	1 000~1 400	38.65	39.81
演示样车	8.8	2.846	12.900	2 500	900~1 300	34.09	34.85

由表3可知:对比基准车型,采用节能技术的演示样车在C-WTVC、CHTC-TT工况下相对节油率(基准车型与演示样车燃油消耗量的差与基准车型燃油消耗量的比)分别为11.79%和12.46%。由于目前我国在用的油耗测试工况为C-WTVC工况,因此以该工况为测试工况,采用转毂台架开展试验,分项验证各关键节能技术的节油效果,不同节能技术对应的燃油消耗量下降幅度如表4所示。

表4 WTVC 工况下不同节能技术对应的燃油消耗量下降幅度

关键技术	燃油消耗量下降幅度/[L·(100 km) ⁻¹]	关键技术	燃油消耗量下降幅度/[L·(100 km) ⁻¹]
高效清洁燃烧技术	1.15	低黏度润滑油	0.51
动力总成匹配技术	0.30	油门转矩控制	0.29
空气动力学	0.31	低滚阻轮胎	1.42
电控附件策略优化	0.58		

由表4可知:低滚阻轮胎技术节油效果最好,燃油消耗量减少了1.42 L/(100 km);其次为高效清洁燃烧技术,燃油消耗量减少了1.15 L/(100 km);油门转矩控制技术的节油效果不明显,燃油消耗量减少了0.29 L/(100 km)。

2 整车燃油经济性道路测试

统计数据监控平台对1 290辆中重型商用车连续运行50 d记录的数据,重型商用车运输路线集中在中东部地区,其中88%为高速运输,12%为国道运输,物流车运行车速为60~90 km/h。基于运行车辆的速度及坡度分析,实车道路测试路线选取荣潍高速中的潍坊-青岛段,单程为104 km。

根据大数据统计的运行车辆车速分布,设置基准车型、演示样车实车道路测试的5种测试工况,分别为国道工况(车速为0~60 km/h)、高速工况I(车速为60~70 km/h)、高速工况II(车速为70~80 km/h)、高速工况III(车速为90 km/h)、高速工况IV(车速为90~100 km/h)。综合工况按照5种工况时间占比分别为0.15、0.15、0.22、0.28、0.20进行评价。

2种车型道路测试燃油消耗量对比结果如表5所示。由表5可知:采用表4提到的节能技术优化后,在5种不同工况下,整车节油率为4.53%~17.72%,车速为90~100 km/h的高速工况节油率最高为17.72%,车速为0~60 km/h的国道节油率最低,为4.53%,综合工况下节油率为12.15%。分析原因主要

是演示样车进行了空气动力学优化,车速越高,阻力降低越明显,节油效果越好。

表5 基准车型、演示样车道路测试燃油消耗量对比结果

工况	燃油消耗量/[L·(100 km) ⁻¹]		演示样车节油率/%
	基准车型	演示样车	
国道	55.60	53.08	4.53
高速工况 I	31.69	28.71	9.40
高速工况 II	33.29	28.67	13.88
高速工况 III	35.34	30.32	14.20
高速工况 IV	39.74	32.70	17.72
综合工况	38.26	33.61	12.15

3 结论

1)对于基准车型,采用 MATLAB 软件分析得出重载柴油机高效清洁燃烧技术的综合评估效果最好,单车能源网络优化管理技术、卡车空气动力学减阻技术、卡车低滚轮胎技术的综合评估效果较好。

2)对比基准车型,采用节能技术的演示样车在 C-WTVC 工况和 CHTC-TT 下整车转毂试验的相对节油率为 11.79%和 12.46%;低滚阻轮胎技术节油效果最好,燃油消耗量可减少 1.42 L/100 km。

3)采用高效清洁燃烧技术、动力总成匹配技术、电控附件策略优化、低滚阻轮胎、低黏度润滑油、油门转矩控制、空气动力学优化节能技术后,该重型商用车综合工况下相对节油率为 12.15%。

参考文献:

- [1] 甄文媛. 工信部、交通部联手严管重型商用车油耗[J]. 汽车纵横, 2012(3): 114-115.
- [2] 王建萍. 世界油耗法规升级及汽车行业的应对策略(上)[J]. 汽车与配件, 2018(27): 34-41.
- [3] 强小文, 刘晓谦. 国六轻型商用车节油技术研究[J]. 专用汽车, 2023(11): 23-28.
- [4] 中华人民共和国工业和信息化部. 重型商用车燃料消耗量限值: GB 30510—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [5] 中华人民共和国工业和信息化部. 重型商用车燃料消耗量限值: 20205232-Q-339[S/OL]. (2022-06-17) [2023-04-09]. <http://www.miit.gov.cn>.
- [6] 李程, 栗广生, 徐承, 等. 某中型载货车风阻优化的节油技术与验证[J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12(6): 25-28.
- [7] 李程, 欧阳海林, 冯哲. 某重型牵引车风阻优化的节油技术研究与应用[J]. 装备制造技术, 2021(5): 111-114.
- [8] 姜壁刚, 何超, 王艳艳, 等. 高原山区道路坡度对机动车比功率和气态排放物的影响[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(15): 6647-6653.
- [9] 高少俊, 颜溯, 段龙杨, 等. 基于大数据的实际道路油耗研究与优化[J]. 汽车实用技术, 2021, 46(5): 114-116.
- [10] 伍晨波, 郑国峰, 朱江苏, 等. 重型车燃油经济性优化及实车道路验证[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2022, 36(6): 247-253.
- [11] 徐一凡, 刘薇, 陈伟建, 等. 基于实际道路的商用车燃油经济性试验研究[C]//2023 中国汽车工程学会年会论文集(7). 北京: 机械工业出版社, 2023: 87-91.
- [12] 李蒙康. 面向物流商用车燃油经济性的道路适应性巡航控制研究[D]. 桂林: 桂林电子科技大学, 2023.
- [13] 解明明. 基于路谱的驾驶员驾驶行为对燃油经济性的影响分析[J]. 汽车维修技师, 2023(3): 125-126.
- [14] 谢凌霄, 黎福海, 漆一宏. 基于行驶场景的汽车燃油经济性评估方法[J]. 仪器仪表学报, 2022, 43(7): 230-238.
- [15] 庞娜. 基于大数据的商用车驾驶行为安全性与经济性评价研究[D]. 柳州: 广西科技大学, 2022.
- [16] 全国汽车标准化技术委员会. 重型商用车燃料消耗量测量方法: GB/T 27840-2011[S]. 北京: 中国标准出版

社,2011.

Key technologies of energy saving for a heavy-duty commercial vehicle

SHI Xiangdong^{1,2}, ZHU Jiangsu^{1,2}, YIN Dongdong^{1,2}, WANG Fulong^{1,2},
NING Tinghui^{1,2}, ZHEN Lei^{1,2}

1. State Key Laboratory of Engine and Powertrain System, Weifang 261061, China;

2. R&D Center, Weichai Power Co., Ltd., Weifang 261061, China

Abstract: To reduce fuel consumption in heavy-duty commercial vehicles, MATLAB software is used for comprehensive evaluation of various energy-saving technologies, including high-efficiency clean combustion of diesel engines and non-refrigerant Rankine cycle waste heat recovery in internal combustion engines. The fuel consumption of benchmark model and demonstration vehicle, as well as the reduction in fuel consumption achieved by different energy-saving technologies, are tested in full vehicle dynamometer tests. Road tests are also conducted on two types of vehicles. The results indicate that for the benchmark model, high-efficiency clean combustion technology for heavy-duty diesel engines has the best comprehensive evaluation effect in MATLAB simulations. Single-vehicle energy network optimization management technology, truck aerodynamics drag reduction technology, and low rolling resistance tire technology also show good comprehensive evaluation effects. Full vehicle dynamometer tests reveal that the demonstration vehicle with energy-saving technologies achieves fuel savings rates of 11.79% and 12.46% in the world heavy duty transient cycle and China semi-trailer tractor train driving cycle, respectively, with the best fuel-saving effect from low rolling resistance tire technology, reducing fuel consumption by 1.42 L/(100 km). After optimization with energy-saving technologies, the comprehensive fuel-saving rate is 12.17%.

Keywords: heavy-duty commercial vehicle; key technology of energy-saving; vehicle economy; real vehicle test
(责任编辑:胡晓燕)

+++++
(上接第80页)

frequency. By decreasing the reciprocating inertia mass of the air compressor and optimizing the excess balance rate of the crankshaft, the vibration of the air compressor body can be reduced, and the optimal excess balance rate is determined to 0.25. By increasing the air compressor speed ratio from 0.68 to 1.0, the operating frequency of the air compressor has been increased from 8.5 Hz to 12.5 Hz. After the optimization, the vibration acceleration amplitude of the seat under idle condition has been decreased from 0.044g to 0.019g, fulfilling the subjective evaluation requirements of customers.

Keywords: idle jitter; air compressor; rigid body mode; reciprocating inertial force; excess balance method; air compressor speed ratio

(责任编辑:刘丽君)