

基于 VECTO 的商用车中国工况碳排放仿真

施佳能¹, 李粟², 张佑源^{1*}, 汪晓伟², 高涛²

1. 东风柳州汽车有限公司, 广西 柳州 545500;
2. 中汽研汽车检验中心(天津)有限公司, 天津 300300

摘要:为研究中国重型商用车循环(Chinese version world transient vehicle cycle, C-WTVC)和中国重型商用车行驶工况(China heavy-duty commercial vehicle test cycle, CHTC)的异同以及对应的碳排放特性,分析欧盟重型车碳排放标准中的整车能量消耗计算工具 VECTO 软件的测试参数及流程,利用 VECTO 软件计算半挂牵引车、重型货车、城市客车和客车在 C-WTVC 和 CHTC 下的碳排放。结果表明:与 C-WTVC 相比,城市客车、客车、重型货车和半挂牵引车在 CHTC 下的碳排放均增加,其中城市客车和客车的增加幅度较大,分别为 19.09%、19.03%;半挂牵引车增加幅度较小,为 5.23%;重型货车增加幅度最低,为 1.51%;重型车碳排放随汽车加速度增加而上升,且随着车辆总质量的增加,碳排放增加趋势更明显。该研究可为商用车企业应对下一阶段油耗标准工况的切换要求提供参考。

关键词:重型商用车; VECTO 软件; C-WTVC; CHTC; 碳排放

中图分类号: U467

文献标志码: A

文章编号: 1673-6397(2022)03-0073-08

引用格式: 施佳能, 李粟, 张佑源, 等. 基于 VECTO 的商用车中国工况碳排放仿真[J]. 内燃机与动力装置, 2022, 39(3): 73-80.

SHI Jia'neng, LI Su, ZHANG Youyuan, et al. CO₂ emission simulation of commercial vehicle under CHTC based on VECTO software[J]. Internal Combustion Engine & Powerplant, 2022, 39(3): 73-80.

0 引言

重型商用车一直以来都是我国机动车节能减排的重点防治对象^[1]。目前,加强对重型商用车节能减排监管的主要途径为升级油耗和排放标准。文献[2]是当前实施的重型商用车油耗标准,采用文献[3]的测试方法,使用中国重型商用车测试循环(Chinese version world transient vehicle cycle, C-WTVC)。而重型商用车四阶段油耗标准正在起草中,采用的循环将由 C-WTVC 转化成中国重型商用车行驶工况(China heavy-duty commercial vehicle test cycle, CHTC)^[4-5]。工况改变对油耗测试将产生非常大的影响,因此对商用车企业未来的技术路线起着至关重要的作用^[6-8]。

欧盟的重型商用车碳排放标准已经实施,采用整车能量消耗计算工具 VECTO 软件模拟计算重型商用车的碳排放,从而计算油耗,国外关于 VECTO 软件的研究已经逐步展开^[9-11]。目前中国采用重型转毂测试油耗,也有应用模拟算法对商用车油耗开展研究^[12-15],但对 VECTO 模拟计算方法的研究很少。

本文中详细介绍 VECTO 软件的模拟计算过程,对比 C-WTVC 和 CHTC 的差异,采用 VECTO 软件模拟计算半挂牵引车、重型货车、城市客车和客车 4 种类型的重型商用车在 2 种测试循环下的碳排放,对比分析 2 种测试循环下的碳排放差异,帮助商用车企业更细致地了解 2 类工况的特性,为企业应对四阶段

收稿日期: 2022-03-09

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFC0214800)

第一作者简介: 施佳能(1983—),男,广西灵山人,工程师,主要研究方向为整车试验技术, E-mail: shijian@dfzm.com。

*** 通信作者简介:** 张佑源(1986—),男,湖南新化人,工学硕士,工程师,主要研究方向为整车排放控制技术, E-mail: zhangyouyuan@dfzm.com。

油耗标准要求提供参考。

1 基于 VECTO 的碳排放模拟计算

VECTO 碳排放模拟计算采用组件测试和整车模拟相结合的方式,组件测试主要包括发动机、传动系统、变速箱、减速器、空气阻力以及轮胎测试,其中发动机和空气阻力的测试数据应经 VECTO Engine 和 VECTO Airdrag 子模块处理后,与其他表据同时输入到 VECTO 主软件中仿真计算整车碳排放^[5]。组件的测试数据可应用于不同的车型,整车模拟计算能够有效消除驾驶员行为和环境条件等对测试结果的影响,节约试验成本,且具有良好的重复性和灵活性。

1.1 VECTO Engine 模块

VECTO Engine 模块用来检验发动机测试数据并计算整车模拟需要的参数。首先,根据发动机怠速和外特性曲线,计算确定发动机油耗万有特性测试点;随后,按照图 1 中的顺序从额定功率开始依次测试,得到发动机油耗万有特性曲线。进行冷、热态瞬态循环(world harmonized transient cycle, WHTC)测试,得到冷、热态 WHTC 的比油耗以及市区、公路和高速路况的比油耗。最后,将发动机相关技术参数及测试数据输入 VECTO Engine 模块中,计算得到 WHTC 修正因子。VECTO Engine 所需的输入参数包括源机怠速转速(r/min),发动机怠速转速(r/min),发动机额定功率(kW),燃料类型,燃料净热值(MJ/kg),WHTC 冷起动、热起动、市区、公路和高速的比油耗($g/(kW \cdot h)$)以及循环再生修正系数;需输入的文件包括源机油耗 map、源机满载曲线、发动机满载曲线、源机倒拖曲线,文件格式均为.csv。

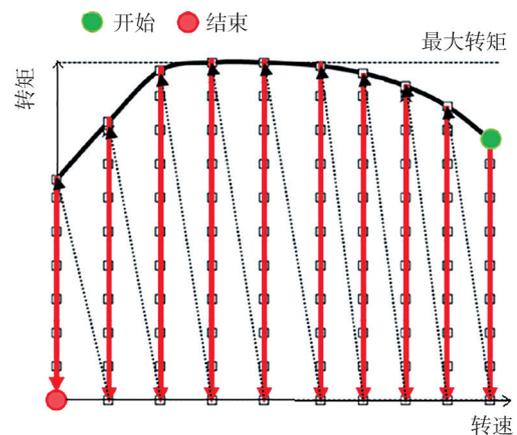


图 1 发动机测试点的测量顺序

1.2 VECTO Airdrag 模块

VECTO Airdrag 模块是通过恒定车速测试数据计算整车空气阻力的工具。恒定车速测试道路包括循环式和往复式,如图 2 所示。

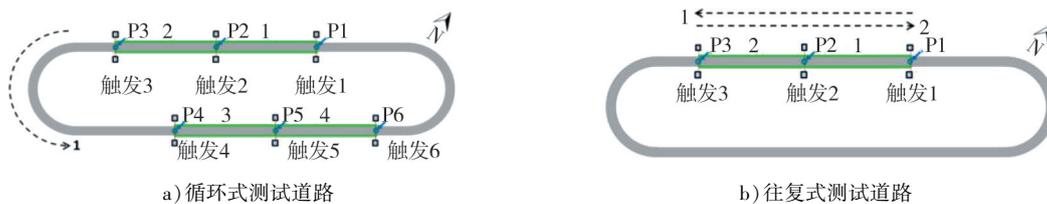


图 2 VECTO Airdrag 恒速测试道路

恒速测试包括车速为 15 km/h 的低速测试和车速为 90 km/h 的高速测试。恒速测试期间需要测量实际风速、轮边转矩、发动机转速、车速等。空气阻力测试参数及设备如图 3 所示。

将所有的测试数据输入到 VECTO Airdrag 中进行检验并生成计算整车空气阻力所需的数据文件,与整车数据文件和环境数据文件一起输入到 VECTO Airdrag 中,计算得到风阻因数和迎风面积等参数。VECTO Airdrag 所需的数据文件及类型如表 1 所示。

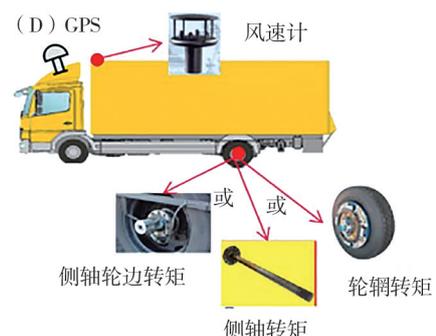


图 3 空气阻力测试参数及设备

表1 VECTO Airdrag 所需的输入文件及类型

文件	整车数据	校准数据	校准测试 测量段配置	环境条件数据	恒速测试 测量段配置	低速1数据	高速数据	低速2数据
类型	.csveh, .json	.osdat	.csms	.csamb	.csms	.csdat	.csdat	.csdat

1.3 VECTO 主模块

VECTO 主模块是整合组件数据参数计算整车油耗的工具,主要包括整车、发动机、变速箱和工作文件等模块。计算碳排放时,将整车、发动机和变速箱参数输入到对应的模块中,计算得到对应格式的数据文件。随后,将以上数据与测试工况文件一同输入到工作文件模块,计算得到用于油耗计算的数据文件,所需数据文件及类型如表2所示。最终得到的油耗结果,乘以表3中的 a 得到整车的碳排放。

表2 VECTO 主模块所需的输入文件及类型

文件	整车参数	发动机参数	变速箱参数	测试循环	工作	瞬态油耗结果	总油耗结果
类型	.vveh	.veng	.vgbx	.vdri	.vecto	.vmod	.vsum

表3 油耗和碳排放相关参数

燃料类型	发动机点火方式	参考燃料	燃料密度/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	a	燃料低热值/($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)
柴油	压燃	B7	836	3.13	42.7
乙醇	压燃	ED95	820	1.83	25.7
汽油	点燃	E10	750	3.04	41.5
乙醇	点燃	E85	786	2.09	29.1
LPG(液态)	点燃	LPG	500~580	3.02	46.0
LNG	点燃	G25	420~460	2.54	45.1

注: a 为燃油燃烧生成的二氧化碳质量与燃油质量的比。

2 油耗模拟计算参数设置

2.1 样车参数

本文中选择城市客车、客车、重型货车和半挂牵引车4种不同类型的重型商用车作为样车,并通过 VECTO 软件对商用车碳排放进行模拟计算,车辆的主要参数如表4所示。

表4 车辆主要参数

样车	类型	总质量/ kg	整备质量/ kg	发动机怠速转速/ ($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	发动机额定转速/ ($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	发动机额定功率/ kW	发动机排量/ L
1	城市客车	11 990	4 670	600	2 200	175	6.87
2	客车	25 000	14 800	600	1 740	250	7.70
3	重型货车	7 495	4 300	750	2 200	115	2.78
4	半挂牵引车	35 000	8 200	600	1 740	325	12.74

2.2 循环工况

对4台样车分别按照文献[3]中的C-WTVC以及文献[4]中的CHTC进行仿真。C-WTVC采用统

一的测试曲线,由市区、公路和高速3部分组成,其中市区行驶900 s,公路行驶468 s,高速行驶432 s,总计1800 s。针对不同类型的重型商用车确定其在3个循环区间的特征里程分配比例,如表5所示。重型商用车的综合油耗由各循环区间的测试结果进行加权计算得到。

表5 重型商用车的分类及其特征里程分布比例

车辆类型	最大设计质量/kg	市区比例/%	公路比例/%	高速比例/%
半挂牵引车	>9 000~27 000	0	40	60
	>27 000	0	10	90
自卸货车	>3 500	0	100	0
货车	>3 500~5 500	40	40	20
	>5 500~12 500	10	60	30
	>12 500~25 000	10	40	50
	>25 000	10	30	60
城市客车	>3 500	100	0	0
客车	>3 500~5 500	50	25	25
	>5 500~12 500	20	30	50
	>12 500	10	20	70

CHTC共有6条测试曲线,分别为城市客车行驶工况(CHTC-B)、客车行驶工况(CHTC-C)、轻型货车(最大设计质量不超过5 500 kg)行驶工况(CHTC-LT)、重型货车(最大设计质量大于5 500 kg)行驶工况(CHTC-HT)、自卸货车行驶工况(CHTC-D)和半挂牵引车行驶工况(CHTC-TT)。重型商用车CHTC下的综合油耗直接由相应测试曲线下的测量结果计算得到,不需要进行额外的加权^[8]。

3 结果分析

利用VECTO软件分别对4种样车在C-WTVC和CHTC下的碳排放进行模拟计算,使用燃料为B7柴油,碳排放转换因数为3.13,载荷设置均为满载(总质量),其中C-WTVC的碳排放按照表5的特征里程系数进行加权。

3.1 模拟计算结果

4种车辆在C-WTVC和CHTC下的碳排放结果如表6所示。由表6可知:CHTC下,车辆的碳排放与车辆总质量不完全正相关,半挂牵引车的质量明显高于客车,但碳排放低于客车;与C-WTVC相比,城市客车、客

表6 4种车型在C-WTVC和CHTC下碳排放结果 g/km

工况	城市客车	客车	重型卡车	半挂牵引车
C-WTVC	585.55	758.36	477.58	816.88
CHTC	697.32	902.65	484.81	859.61

车、重型货车和半挂牵引车在CHTC下的碳排放均增加,增加比例分别为19.09%、19.03%、1.51%和5.23%。城市客车和客车的增加幅度较大,半挂牵引车增加幅度较小,重型货车增加幅度最小。

3.2 数据分析

3.2.1 城市客车

城市客车在CHTC-B和C-WTVC时循环特性参数对比如表7所示。

由表7可知:与C-WTVC相比,城市客车在CHTC-B运行时间更长,最大加速度和平均加速度更高,平均速度更低,怠速比例更高。

表7 城市客车在 CHTC-B 和 C-WTVC 下的特征参数

工况	行驶时间/s	距离/km	最大速度/ ($m \cdot s^{-1}$)	最大加速度/ ($m \cdot s^{-2}$)	最大减速度/ ($m \cdot s^{-2}$)	平均速度/ ($m \cdot s^{-1}$)	平均行驶速度/ ($m \cdot s^{-1}$)
CHTC-B	1 310	5.49	45.60	1.26	-1.32	15.08	19.43
C-WTVC	900	5.73	66.20	0.88	-1.00	22.90	27.21
工况	平均加速度/ ($m \cdot s^{-2}$)	平均减速度/ ($m \cdot s^{-2}$)	相对正加速度/ ($m \cdot s^{-2}$)	加速比例/ %	减速比例/ %	匀速比例/ %	怠速比例/ %
CHTC-B	0.48	-0.54	0.17	29.16	25.88	22.60	22.37
C-WTVC	0.39	-0.55	0.15	35.18	25.86	23.09	15.87

城市客车碳排放随加速度的变化如图4所示。由图4可知:城市客车的碳排放随加速度增大呈明显快速增加的趋势,简单线性拟合的斜率为5.18。CHTC-B的最大加速度比C-WTVC高38.6%,CHTC-B的平均加速度比C-WTVC高23.1%,因此CHTC-B的碳排放增加明显。

城市客车在CHTC-B和C-WTVC的各挡位时间占比如表8所示。由表8可知:由于CHTC-B平均行驶速度更低,怠速比例更高,因此更多在低挡位运行。CHTC-B直接挡(6挡)的时间占比仅为16.3%,而C-WTVC为59.7%,导致CHTC-B的碳排放较高。

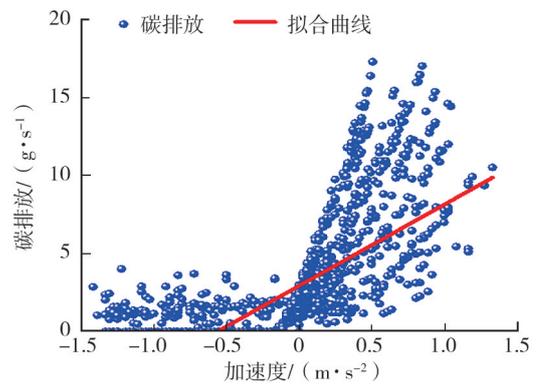


图4 城市客车碳排放随加速度的变化

表8 城市客车在 CHTC-B 和 C-WTVC 下的各挡位时间占比 %

工况	空挡	1挡	2挡	3挡	4挡	5挡	6挡
CHTC-B	24.2	20.7	7.2	10.2	16.0	5.4	16.3
C-WTVC	10.7	8.9	2.7	5.7	8.1	4.3	59.7

3.2.2 客车和重型货车

客车CHTC-C、重型货车CHTC-HT和C-WTVC特性参数对比如表9所示。由表9可知:与C-WTVC相比,CHTC-C和CHTC-HT循环的怠速比例和最大加速度更高,平均加速度和平均行驶速度CHTC-C最高,C-WTVC次之,CHTC-HT最低。

表9 CHTC-C、CHTC-HT 和 C-WTVC 下的特征参数

工况	行驶时间/ s	距离/ km	最大速度/ ($m \cdot s^{-1}$)	最大加速度/ ($m \cdot s^{-2}$)	最大减速度/ ($m \cdot s^{-2}$)	平均速度/ ($m \cdot s^{-1}$)	平均行驶速度/ ($m \cdot s^{-1}$)
CHTC-C	1 800	19.62	95.7	1.25	-0.13	39.24	47.98
CHTC-HT	1 800	17.33	88.5	1.14	-1.21	34.65	40.16
C-WTVC	1 800	20.51	87.8	0.88	-1.00	41.00	45.52
工况	平均加速度/ ($m \cdot s^{-2}$)	平均减速度/ ($m \cdot s^{-2}$)	相对正加速度/ ($m \cdot s^{-2}$)	加速比例/ %	减速比例/ %	匀速比例/ %	怠速比例/ %
CHTC-C	0.43	-0.48	0.10	26.22	22.56	33.00	18.22
CHTC-HT	0.31	-0.45	0.09	24.22	18.06	44.00	13.72
C-WTVC	0.36	-0.48	0.09	28.76	22.87	38.53	9.94

客车碳排放随加速度的变化如图5所示。由图5可知:客车的碳排放也呈现比城市客车更为明显地随加速度增加快速增加的趋势,其简单线性拟合的斜率达18.4。而CHTC-C的最大加速度和平均加速度分别比C-WTVC高42%和19.4%,因此CHTC-C的碳排放增加明显。

客车在CHTC-C和C-WTVC的各挡位时间占比如表10所示。由表10可知,由于CHTC-C的平均行驶车速高于C-WTVC,因此CHTC-C直接挡(6挡)的时间占比为27.6%,比C-WTVC更多,抵消了一部分加速度带来的碳排放影响。因此中国工况下的客车和城市客车碳排放增加幅度都在19%左右。

表10 客车在CHTC-C和C-WTVC下的各挡位时间占比 %

工况	空挡	1挡	2挡	3挡	4挡	5挡	6挡
CHTC-C	27.7	11.3	9.2	6.0	14.1	4.2	27.6
C-WTVC	21.5	10.4	8.9	8.3	18.3	11.9	20.6

重型货车碳排放随加速度的变化如图6所示。由图6可知:重型货车的碳排放随加速度增大呈现快速增加的趋势,其简单线性拟合的斜率为7.08。CHTC-HT的最大加速度比C-WTVC高29.5%,但平均加速度低13.9%。两者相互制约,因此CHTC-HT下碳排放增加很小。

重型货车在CHTC-HT和C-WTVC的各挡位时间占比如表11所示。由表11可知:由于CHTC-HT的平均行驶车速低于C-WTVC,因此CHTC-C直接挡(6挡)的时间占比为15.2%,少于C-WTVC。

表11 重型货车在CHTC-HT和C-WTVC下的各挡位时间占比 %

工况	空挡	1挡	2挡	3挡	4挡	5挡	6挡
CHTC-HT	22.0	10.4	6.7	9.8	21.1	14.7	15.2
C-WTVC	18.8	8.2	3.3	9.2	25.6	13.7	21.2

3.2.3 半挂牵引车

半挂牵引车在CHTC-TT和C-WTVC的特性参数如表12所示。由表12可知:与C-WTVC相比,半挂牵引车在CHTC-TT时最大加速度略有增加,平均加速度略有降低,平均速度大幅降低。并且,CHTC-TT也包括一部分城市工况,而C-WTVC只计算公路和高速部分。

半挂牵引车碳排放随加速度的变化如图7所示。由图7可知,半挂牵引车的碳排放呈现明显地随加速度增加快速增加的趋势,简单线性拟合的斜率为28.96。虽然半挂牵引车在CHTC-TT的最大加速度比C-WTVC高8.0%,但平均加速度低9.7%,理论上CHTC-TT的碳排放应该比C-WTVC低。分析挡位变化情况,CHTC-TT最高挡(12挡)的时间占比为41.3%,而C-WTVC最高挡占比达到50.6%;而且由于CHTC-TT有市区工况,需要频繁换挡,也会导致碳排放增加。这些因素综合导致CHTC-TT的碳排放

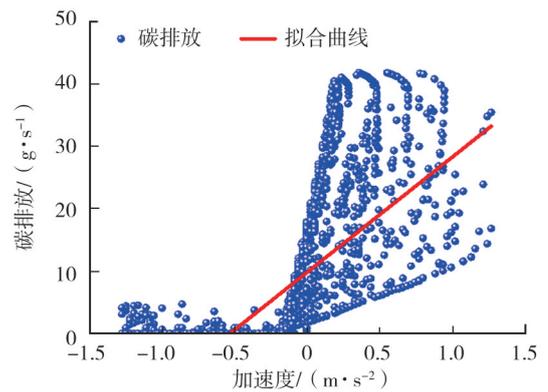


图5 客车碳排放随加速度的变化

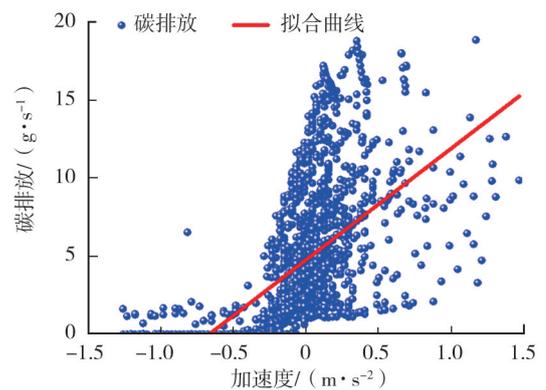


图6 重型货车碳排放随加速度的变化

高于 C-WTVC。

表 12 半挂牵引车在 CHTC-TT 和 C-WTVC 下的特征参数

工况	行驶时间/ s	距离/ km	最大速度/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	最大加速度/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)	最大减速度/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)	平均速度/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	平均行驶速度/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
CHTC-TT	1800	23.22	88.00	0.81	-1.04	46.44	50.82
C-WTVC 中公路和高速部分	900	14.78	87.80	0.75	-1.00	59.05	61.51
工况	平均加速度/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)	平均减速度/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)	相对正加速度/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)	加速比例/ %	减速比例/ %	匀速比例/ %	怠速比例/ %
CHTC-TT	0.28	-0.36	0.06	17.44	15.78	58.17	8.61
C-WTVC 中公路和高速部分	0.31	-0.40	0.07	22.31	19.76	53.94	4.00

4 结语

介绍了目前欧盟 CO₂ 排放标准中采用的重型商用车油耗模拟计算软件 VECTO,使用 VECTO 软件模拟计算了半挂牵引车、重型货车、城市客车和客车 4 种类型的重型商用车在 C-WTVC 和 CHTC 下的碳排放,对比分析了 C-WTVC 和 4 种 CHTC 循环的特征参数。

1)与 C-WTVC 相比,城市客车、客车、重型货车和半挂牵引车在 CHTC 下的碳排放均增加;城市客车和客车的增加幅度最高,半挂牵引车增加幅度较低,重型货车增加幅度最低。

2)重型车碳排放随汽车加速度增加而上升,且随总质量的增加,上升趋势更加明显。此外,随着重型车行驶工况的变化,驾驶策略相应变化,也会引起车辆碳排放的变化。

3)后续将在 CHTC 特征参数分析的基础上,通过发动机油耗标定优化以及整车速比配置优化等方式,探寻降低 CHTC 油耗的方法,为应对四阶段油耗标准要求做好准备。

参考文献:

- [1] 黄志辉,纪亮,尹洁,等.中国道路交通二氧化碳排放达峰路径研究[J].环境科学研究,2022,35(2):385-393.
- [2] 生态环境部.中国移动源环境管理年报(2021年)[R/OL].(2021-09-10)[2022-01-20].https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/ydyhjgl/202109/t20210910_920787.shtml.
- [3] 中华人民共和国工业和信息化部.重型商用车燃料消耗量测试方法:GB/T 27840—2011[S].北京:中国标准出版社,2011.
- [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测试方法:GB/T 27840—2021[S].北京:中国标准出版社,2021.
- [5] 宋子钰,陶云飞,张晖,等. CHTC 与 C-WTVC 工况油耗和排放的试验研究[J].汽车技术,2020(6):51-57.
- [6] 侯献军,苏达,刘志恩,等.轻型商用车不同循环工况下排放性能与油耗分析[J].内燃机工程,2022,43(1):29-38.
- [7] 汪晓伟,关娇,高涛,等.重型车国六法规和中国工况发动机测试循环的差异分析[J].小型内燃机与车辆技术,2021,50(3):55-58.

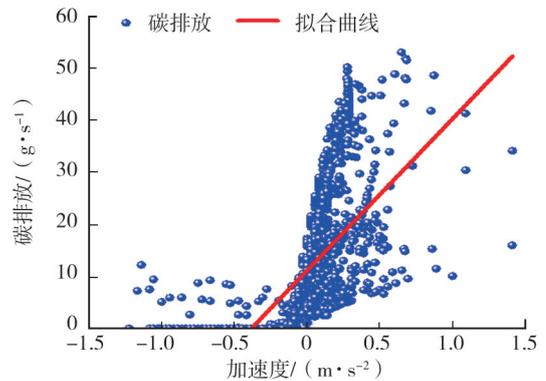


图 7 半挂牵引车碳排放随加速度的变化

- [8] 于津涛,熊兴旺,刘嘉伟,等. 重型车 Pems 试验工况与中国工况对比研究[J]. 车用发动机,2020(5):80-86.
- [9] European Commission. Regulation (EU) 2017/2400 of 12 december 2017 implementing regulation (EC) No 595/2009 of the European parliament and of the council as regards the determination of the CO₂ emissions and fuel consumption of heavy-duty vehicles and amending directive 2007/46/EC of the European parliament and of the council and commission regulation (EU) No 582/2011[S]. Brussels, Belgium;European Commission,2017.
- [10] GEORGIOS F, THEODOROS G, DIMITRIOS S, et al. An experimental evaluation of the methodology proposed for the monitoring and certification of CO₂ emissions from heavy-duty vehicles in Europe[J]. Energy,2016,102:354-364.
- [11] ZACHAROF N, OZENER O, OZKAN M, et al. Simulating city-bus on-road operation with VECTO [J]. Frontiers in Mechanical Engineering, 2019,5:58.
- [12] 闫祯,王兆,郝天雷,等. 不同工况下重型商用车燃料消耗量模拟计算结果对比研究[J]. 中国汽车,2019(2):39-43.
- [13] 怀自力,刘闪闪,李小坚. AVL-Cruise 仿真在商用车油耗分析中的应用[J]. 安徽电子信息职业技术学院学报,2015,14(4):4-10.
- [14] 可尚基,钱晓东. 基于 AVL CRUISE 的客车经济性仿真分析及验证[J]. 客车技术与研究,2021,43(2):32-34.
- [15] 贾启蒙,齐臣,张鹏. 基于 Cruise 与 Matlab 的某轻型商用车动力性、经济性分析与研究[J]. 重型汽车,2021(1):11-12.

CO₂ emission simulation of commercial vehicle under CHTC based on VECTO software

SHI Jia'neng¹, LI Su², ZHANG Youyuan^{1*}, WANG Xiaowei², GAO Tao²

1. Dongfeng Liuzhou Motor Co., Ltd., Liuzhou 545000, China;

2. CATARC Automotive Test Center(Tianjin) Co., Ltd., Tianjin 300300, China

Abstract: In order to compare and analyze the similarities and differences between Chinese version world transient vehicle cycle (C-WTVC) and China heavy-duty commercial vehicle test cycle (CHTC) and the corresponding CO₂ emission characteristics, the test parameters and process of VECTO software, a vehicle energy consumption calculation tool in EU heavy duty vehicle carbon emission standard, are analyzed. The CO₂ emission under the C-WTVC and CHTC are calculated by VECTO for vehicles including city bus, coach, heavy truck and semi-trailer tractor, to compare and analyze the differences of both test cycles and the corresponding carbon emission characteristics. The results show that, compared with C-WTVC, the CO₂ emissions of these four types of vehicles all increase under CHTC. City bus and coach have the highest increase of 19.09% and 19.03%, respectively. Semi-trailer tractor shows a lower increase of 5.23%, and heavy truck vehicle has the lowest increase of 1.51%. Heavy-duty vehicle CO₂ emission rises with the increases of vehicle acceleration, and the upward trend becomes more pronounced as the total mass increases. This research can provide a reference for commercial vehicle companies to meet the requirements of the next stage of fuel consumption standards.

Keywords: heavy-duty commercial vehicle; VECTO software; C-WTVC; CHTC; CO₂ emission

(责任编辑:刘丽君)