

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2019.06.003

国六排放法规对 RDE 试验中 驾驶行为激烈程度评判的有效性分析

李岳兵¹, 杜宝程^{1,2}, 张 运¹, 张 力¹, 徐划龙², 向 橄²

(1. 重庆大学 汽车工程学院, 重庆 400044; 2. 中国汽车工程研究院股份有限公司, 重庆 401122)

摘要:为真实反映车辆实际排放水平, 轻型车国六排放法规将实际行驶排放试验(real driving emission, RDE)作为补充测试程序。由于在实际测试过程中, 实际道路排放测试结果受到驾驶行为的影响较为显著, 而目前法规的边界条件主要为保证试验过程的规范性, 仅通过行程动力学验证和窗口加权系数来对测试过程中驾驶行为的激烈程度进行评判。为探究当前法规对驾驶行为激烈程度评判的有效性, 选择 3 辆符合国六排放标准的轻型汽油车以不同的驾驶行为进行多次 RDE 对比试验。结果表明, 当前法规没有严格地对试验过程中驾驶行为的激烈程度进行限制, 造成不同驾驶行为下的 RDE 试验结果具有很大差异, 甚至可能会导致试验结果超过法规限值。通过对各窗口 $v \cdot a_{\text{pos}} [95]$ 的分布特性进行分析, 建议采用窗口 $v \cdot a_{\text{pos}} [95]$ 对驾驶行为激烈程度进行评判和修正。

关键词:动力学检验; 驾驶行为; RDE; 轻型汽油车

中图分类号: U467.1

文献标志码: A

文章编号: 1000-582X(2019)06-026-08

Validity analysis of China-6 emission regulation on judging the fierceness of driving behavior in RDE test

LI Yuebing¹, DU Baocheng^{1,2}, ZHANG Yun¹, ZHANG Li¹, XU Hualong², XIANG Gan²

(1. School of Automotive Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China;
2. China Automotive Engineering Research Institute Co., LTD., Chongqing 401122, P. R. China)

Abstract: In order to truly reflect the actual emission level of vehicles, the Real Driving Emission (RDE) test is used as a supplementary test procedure in the light vehicle emission regulations. In the actual test process, the road emission results are significantly affected by driving behavior, but the current regulatory boundary conditions aim to ensure the standardization of the test process, only to judge the intensity of driving behavior in the test process through route dynamics verification and window weighting coefficient. In order to explore the validity of current regulations in judging the severity of driving behavior, three light-duty gasoline vehicles meeting China 6 were selected to conduct RDE comparative tests with different driving behaviors. The results show that the current regulations do not strictly limit the intensity

收稿日期: 2019-01-10

基金项目: 重庆市重点产业共性关键技术创新专项项目(CSTC2015ZDCY-ZTZX60014)。

Supported by Chongqing Major Industry Common Key Technology Innovation Oriented Project (CSTC2015ZDCY-ZTZX60014).

作者简介: 李岳兵(1991—), 男, 重庆大学硕士研究生, 主要从事车辆排放控制研究, (E-mail) lybcqu@163.com。

通讯作者: 张力(1968—), 男, 重庆大学教授, 博士生导师, (E-mail) cqucl@163.com。

of driving behavior during the test, resulting in very different RDE test results under different driving behaviors, and may even cause test results to exceed regulatory limits. By analyzing the distribution characteristics of each window $v \cdot a_{\text{pos}}$ [95], it is recommended to use the window $v \cdot a_{\text{pos}}$ [95] to judge the severity of driving behavior and to correct the test results.

Keywords: dynamic verification; driving behavior; RDE; light duty gasoline vehicle

随着汽车保有量的急剧增加,汽车尾气给环境带来巨大的污染,为此各国排放法规不断加严,其中欧盟已于2014年9月实施第六阶段排放标准。由于传统的NEDC(new european driving cycle)测试循环无法很好反映车辆排放水平^[1],欧盟委员会提出用WLTC(word light duty test cycle)循环代替NEDC循环^[2]。此外,为使实验室测试循环更好地反映车辆实际排放水平,欧盟委员会又提出用实际行驶排放(real drive emission, RDE)测试作为WLTC测试循环的补充程序^[3]。中国在参照欧盟排放法规(第六阶段)的基础上,也于2016年12月发布《轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国第六阶段)》排放法规^[4]。

RDE试验规程最早是由欧盟联合研究中心提出作为WLTC测试循环的补充测试程序,以进一步缩小实验室测试循环与实际排放的差异^[5]。由于RDE试验能够覆盖宽广的驾驶条件和环境条件,因而能够更好地反映实际行驶中的道路排放^[6-7]。但是由于RDE试验结果容易受到环境条件和驾驶行为等主客观因素较大的影响^[8-10],造成试验结果难以具备足够的可重复性。而大量的试验研究表明,在RDE试验众多的影响因素中驾驶行为的影响尤为显著^[11-12]。同时,笔者也在大量的RDE试验中发现,在满足RDE法规各项要求的基础上,激烈驾驶行为下的RDE试验结果可能会超过法规限值,因此有必要对RDE法规中行程动力学验证的有效性进行探究。

为分析当前国六法规对RDE测试过程中驾驶行为评判的严格程度,笔者严格按照RDE试验规程,以不同的驾驶行为对3辆满足国六排放标准的轻型汽油车进行多次RDE试验,对法规关于驾驶行为激烈程度评判的严格程度进行探究,对不同驾驶行为下RDE试验结果及各窗口的 $v \cdot a_{\text{pos}}$ [95]分布进行分析,发现法规无法有效评判RDE试验过程中驾驶行为的激烈程度,建议通过窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}$ [95]来对驾驶行为进行评判。

1 试验设备与数据处理

1.1 试验车辆

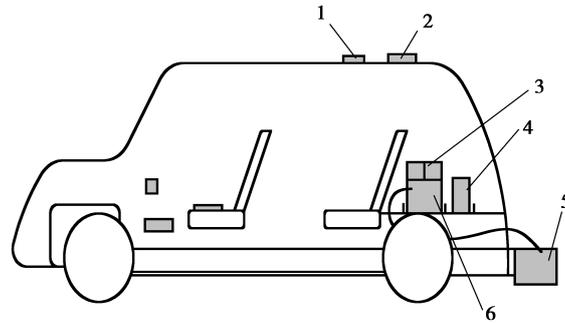
共选用3辆满足国六排放标准的轻型自动挡汽油车用于RDE试验。试验车辆均生产于2017年,汽车排放均为2.0 L,进气方式为涡轮增压,燃油标号为92号汽油。其余信息如表1所示。

表1 车辆信息表
Table 1 Vehicle information

车辆序号	最大功率/kw	供油方式	整备质量/kg	行驶里程/km
A	134	缸内直喷	1 660	12 564
B	137	混合喷射	1 685	11 025
C	148	缸内直喷	1 790	11 396

1.2 便携式排放测试系统

试验所用排放测试系统为日本HORIBA公司生产的OBS-ONE便携式排放测试系统(portable emission measurement system, PEMS),分为三大模块:气体模块、颗粒物模块和中心控制模块,对机动车排放的气态污染物和颗粒态污染物进行实时分析。其中,气态污染物分析仪(HORIBA-GS)用于测量机动车尾气中的气态污染物;颗粒物实时测量系统(HORIBA-PN)用于测量尾气中的颗粒物浓度。气态污染物分析仪通过不分光红外分析仪测量CO和CO₂,化学分光分析仪测量NO_x;颗粒物实时测量系统利用激光散射凝聚离子计数法测量PN。HORIBA-GS和HORIBA-PN设备安装示意图如图1所示。



1.温度/湿度传感器;2.GPS;3.OBS-ONE 主单元;4.气瓶;5.排气流量计;6.电池

图 1 PEMS 设备安装示意图

Fig. 1 PEMS equipment installation

1.3 试验路线

RDE 试验路段选择在重庆市渝北区,路线如下:中国汽研—金渝大道—金山大道—金兴大道—兴科大道—凯歌路—双龙大道—义学路—双凤路—桃源大道;空港绕城高速—包茂高速—高嘴收费站;包茂高速—新龙湾立交—向行驶 5.00 km。路线总行程 75.52 km,其中市区行程 24.64 km(32.63%)、市郊行程 24.44 km(32.36%)、高速行程 26.44 km(35.01%)。总测试时间为 96.21min,市区、市郊和高速路段时间分配分别为 61.10 min(63.51%)、20.11 min(20.90%)、15.00 min(15.59%)。累积正海拔增加量为 546.32 m/100 km,环境温度变化范围为 19.94~21.92 ℃,低于 30 ℃,符合 RDE 法规要求;整条测试路线海拔高度在 192.73~313.21 m,满足 RDE 法规要求(<700 m)。道路坡度在 -0.05~0.05 范围内变动,因此可以忽略其对 RDE 试验结果的影响。

1.4 试验方法

为评估当前法规对测试过程中动力学验证的有效性,按照 RDE 规程要求展开 RDE 试验,试验过程中驾驶员分别以两种不同的驾驶行为(正常驾驶、激烈驾驶)进行 RDE 测试(共进行 6 次 RDE 试验)。驾驶行为的定义分别如下:“正常驾驶”指驾驶员的驾驶行为与平常驾驶行为相符;“激烈驾驶”指驾驶员以一种运动、激进的方式进行驾驶,驾驶过程中伴随着大量的急加速和急减速事件。所有 RDE 试验均在工作日早高峰时段进行,试验车辆按照市区、市郊和高速路段的顺序在同一测试路线进行测试。

在同一测试路段上进行不同驾驶行为下的 RDE 试验时,除不可重复的交通状况这一影响因素外,为避免海拔高度、道路坡度以及环境温度等环境因素对试验结果的影响,笔者对 6 次试验的环境条件进行分析,如表 2 所示。由表 2 可知,试验环境条件满足 RDE 的非扩展条件,且总体样本方差较小,表明 6 次试验环境条件差异较小。

表 2 试验环境条件

Table 2 Test environment conditions

序号	压力/Pa	温度/℃	湿度/%
1	98.7	16.9	89.5
2	98.3	18.3	82.9
5	98.3	18.4	94.1
4	98.1	18.6	82.0
5	98.9	16.6	84.6
6	98.5	16.3	86.3
均方差	0.29	1.03	4.55

2 RDE 试验验证

2.1 行程动力学验证

根据 RDE 法规要求, RDE 试验首先需要进行动力学检验, 以评估各路段是否存在动力学不足或过度。其中, 以 RPA (relative positive acceleration) 来评价试验过程中是否存在动力学不足, 以 $v \cdot a_{\text{pos}} [95]$ (m^2/s^3) 来评价试验过程是否存在动力学特性过度。

RPA 用来衡量测试过程中驾驶行为的平顺程度 (公式及图中记为 a_{RPA})。根据法规要求, 评判标准如下: 如果 $\bar{v}_k \leq 94.05 \text{ km/h}$, $a_{\text{RPAK}} < (-0.0016 \cdot \bar{v}_k + 0.1775)$, 行程无效; 如果 $\bar{v}_k > 94.05 \text{ km/h}$, $a_{\text{RPAK}} < 0.025$, 行程无效。

$v \cdot a_{\text{pos}} [95]$ 是各路段中大于 0.1 m/s^2 的加速度与其对应速度的乘积所组成的数组中第 95 百分位数, 用来衡量试验过程中驾驶行为的激烈程度。其评判标准如下: 如果 $\bar{v}_k \leq 74.6 \text{ km/h}$, 并且 $v \cdot a_{\text{pos}} [95] > (0.136 \cdot \bar{v}_k + 14.44)$, 行程无效; 如果 $\bar{v}_k > 74.6 \text{ km/h}$, 并且 $(v \cdot a_{\text{pos}}) [95] > (0.0742 \cdot \bar{v}_k + 18.966)$, 行程无效。

RDE 试验中各路段的 RPA 和 $v \cdot a_{\text{pos}} [95]$ 验证图如图 2 所示。由图 2 可知, 随着驾驶行为激烈程度的增加, 行程动力学参数均有不同程度的增大。由于所进行的是正常驾驶和激烈驾驶这两种不同驾驶行为的对比试验, 所以只对 $v \cdot a_{\text{pos}} [95]$ 进行分析。此外还发现正常驾驶和激烈驾驶的 $v \cdot a_{\text{pos}} [95]$ 均具有较为明显的界限, 表明 $v \cdot a_{\text{pos}} [95]$ 可以很好地反映测试过程中驾驶行为的激烈程度。无论是正常驾驶还是激烈驾驶, 各路段的 $v \cdot a_{\text{pos}} [95]$ 均在法规限定线以下, 均能够通过法规行程动力学验证。表明法规目前的行程动力学边界过于宽广, 造成在法规允许范围内驾驶行为激烈程度具有较大变化。

综上所述, 现有 RDE 法规动力性检验是以每个路段的动力学特性均值来进行动力学检验, 由于法规行程动力学边界条件过于宽松, 所以不能严格地对测试过程中驾驶行为的激烈程度进行限制。

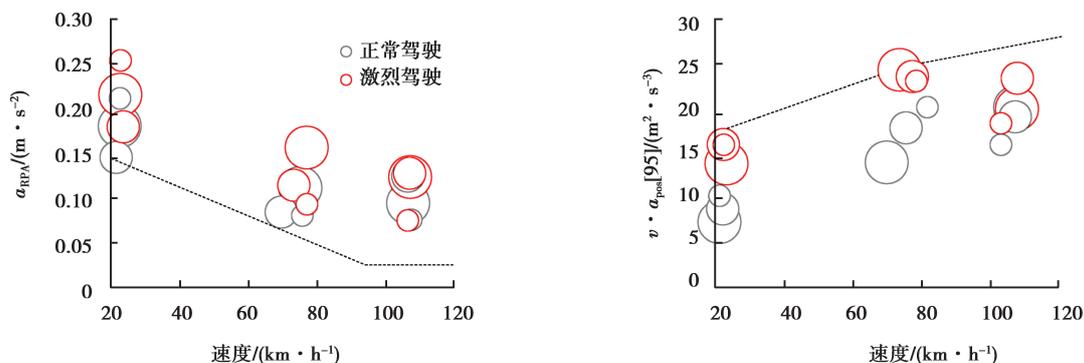


图 2 动力学验证图

Fig. 2 Dynamics verification

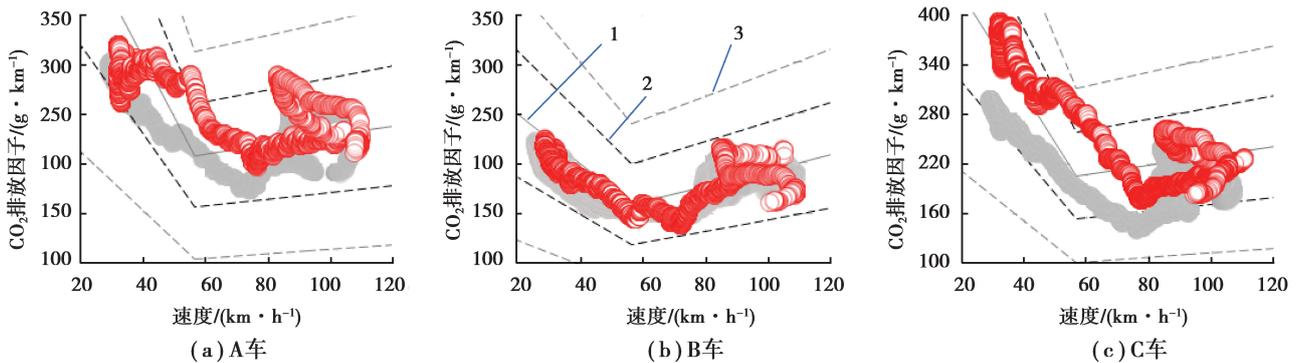
2.2 窗口划分

试验所用的 PEMS 设备通过预热和标定后, 便开始进行 RDE 试验数据采集。根据 RDE 法规要求, 对试验数据中的冷启动和怠速等数据进行剔除后, 按照 CO_2 移动平均窗口法对试验数据进行窗口划分, 最终得到 CO_2 排放特性曲线。其划分过程如下: 以车辆 WLTC 测试循环 CO_2 排放总质量的 1/2 为阈值, 从第一个数据点开始, 以 1 s 为数据点间隔, 对往后的数据点依次进行累加, 直至 CO_2 累加值大于或等于阈值, 此时该数据子集记为第一个窗口, 往后依次进行窗口划分直至最后一个数据点。 CO_2 特性曲线通过 P_1 、 P_2 和 P_3 点确认, 其定义如下: P_1 点, $\bar{v}_{P_1} = 19.0 \text{ km/h}$ (WLTC 循环低速段平均速度), $M_{\text{CO}_2, \text{d}, P_1} = \text{WLTC 循环低速路段车辆 } \text{CO}_2 \text{ 的排放结果乘以 } 1.20 (\text{g/km})$; P_2 点, $\bar{v}_{P_2} = 56.6 \text{ km/h}$ (WLTC 循环高速段平均速度); $M_{\text{CO}_2, \text{d}, P_2} = \text{WLTC 循环高速路段车辆 } \text{CO}_2 \text{ 的排放结果乘以 } 1.10 (\text{g/km})$; P_3 点, $\bar{v}_{P_3} = 92.3 \text{ km/h}$ (WLTC 循环超高速段平均速度), $M_{\text{CO}_2, \text{d}, P_3} = \text{WLTC 循环超高速路段车辆 } \text{CO}_2 \text{ 的排放结果乘以 } 1.05 (\text{g/km})$ 。 CO_2 特性曲线的基本公差和扩展公差分别为 25% 和 50%。

窗口划分完成后,按照每个窗口的平均速度将窗口分为市区、市郊和高速窗口。其中,如果窗口平均速度小于 45.0 km/h 为市区窗口,45.0~80.0 km/h 为市郊窗口,高于 80.0 km/h 为高速窗口。窗口完成分类后,计算出每个路段各污染物的排放量,最后按照市区 0.34、市郊 0.33 以及高速 0.33 对每个路段的各污染物排放量进行加权计算后得到总行程的最终排放结果。

2.3 窗口验证

根据 RDE 法规要求,通过行程动力学验证后,进行窗口划分并得到每个窗口 CO₂ 排放特性因子,以进行窗口完整性和正常性验证(见图 3)。窗口验证评判标准如下:如果在市区、市郊和高速各路段的窗口数量分别占总窗口数量的 15% 以上时满足完整性验证;如果 50% 以上的市区、市郊和高速路段的窗口落在特性曲线所定义的基本公差带范围内时满足正常性验证。当试验数据无法满足窗口正常性验证要求时,可以 1% 为步长增加基本公差带上限的范围,直至满足窗口完整性要求,但是最终的基本公差带应在扩展公差带以内。



1.CO₂ 特性曲线;2.基本公差带;3.扩展公差带

图 3 CO₂ 排放特性曲线图

Fig. 3 Curve of CO₂ emission characteristics

由图 3 可知,随着驾驶行为激烈程度的增加,实际道路 CO₂ 排放特性曲线有整体向上提升的趋势,但是提升幅度不大,并且无论是正常驾驶还是激烈驾驶,实际道路 CO₂ 排放特性曲线均分布在 CO₂ 基本公差带以内。为对窗口分布特性进行进一步分析,笔者计算出了各个路段的窗口正常性分布,如表 3 所示。从表 3 可以发现,总体而言 6 次 RDE 试验均能够通过窗口完整性、正常性验证。不同驾驶行为下的窗口 CO₂ 排放因子分布特性基本一致,因此无法体现驾驶行为激烈程度的差异性,所以通过 CO₂ 移动平均法所确定的窗口加权系数不能全面地消除驾驶行为的激烈程度对 RDE 试验结果的影响。

表 3 窗口正常性验证表

Table 3 Window normality verification

驾驶行为	市区比重/%	市郊比重/%	高速比重/%
正常驾驶(A)	91.26	96.51	100.00
激烈驾驶(A)	95.68	78.94	90.48
正常驾驶(B)	98.81	100.00	100.00
激烈驾驶(B)	100.00	100.00	100.00
正常驾驶(C)	89.48	76.15	81.15
激烈驾驶(C)	100.00	65.81	100.00

由于法规中通过CO₂排放因子所确定的窗口加权系数并不能全面地反映窗口的驾驶行为激烈程度,因而有必要探寻一种新的驾驶行为激烈程度评判方法。

3 RDE 试验结果分析

3.1 不同驾驶行为下的试验结果差异性分析

分别对CO、PN和NO_x的排放量进行计算,得到计算结果如图4所示。从图中可以发现,激烈驾驶和正常驾驶下的RDE试验结果具有很大的差异,激烈驾驶行为下的各污染物排放量远远高于正常驾驶。其中CO排放相对于正常驾驶升高143.93%~260.68%,PN排放相对于正常驾驶行为升高86.60%~267.95%,NO_x排放相对于正常驾驶升高22.91%~116.27%。表明由于各污染物生成机理存在差异,造成各污染物对驾驶行为敏感程度具有较大差异。其中CO和PN对驾驶行为的敏感程度基本相同,NO_x对驾驶行为激烈程度的敏感程度相对有所降低。这是因为在激烈驾驶行为下发动机主要处于高负荷运行状态,混合气燃烧不充分,因而造成CO和PN排放升高;而NO_x的生成机理是高温富氧,因此驾驶行为对NO_x的影响较小。从图4中还可以发现,正常驾驶行为下各车均能通过RDE法规;但是在激烈驾驶行为下,B车的PN排放因子(图中用 E_{PN} 表示)为 1.32×10^{12} #/km,超过RDE法规限值 1.26×10^{12} #/km,造成B车具有完全相反的试验结论。

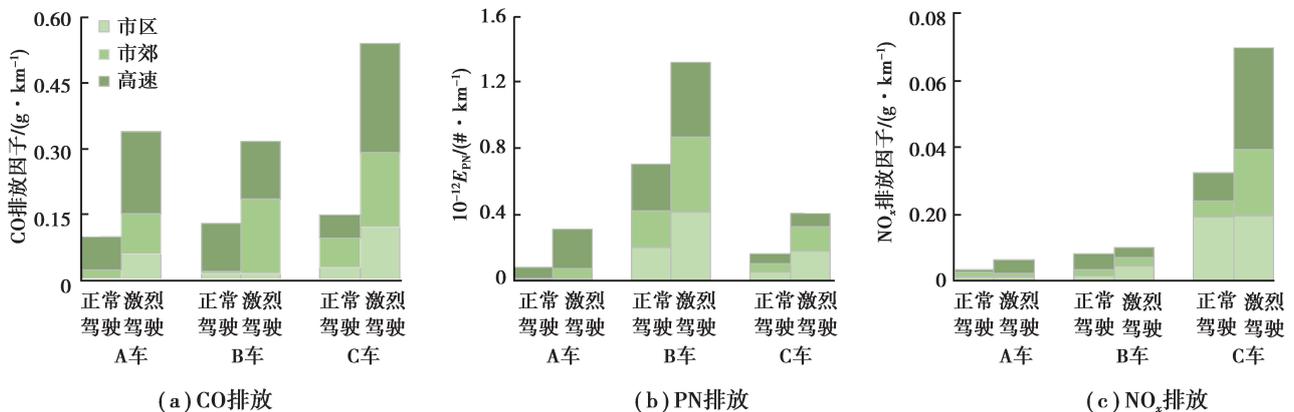


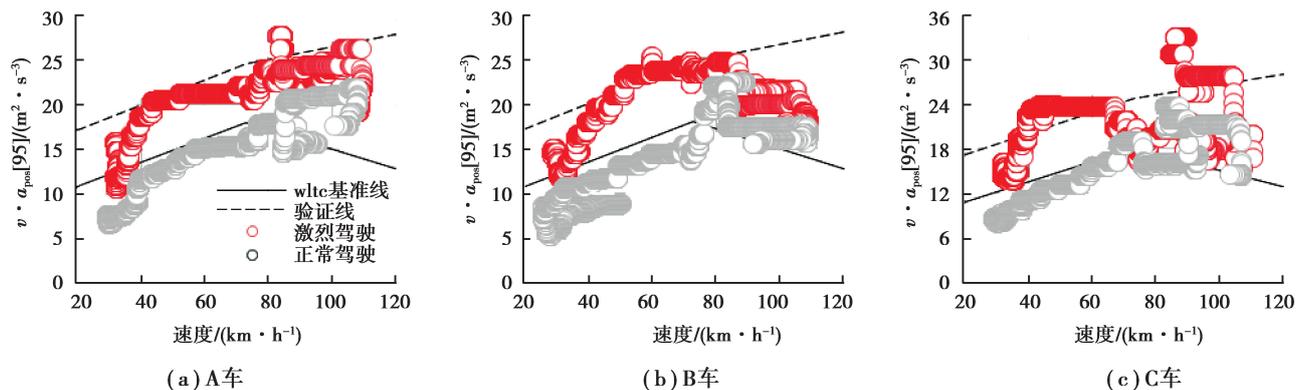
图4 污染物排放图

Fig. 4 Pollutant discharge

由于目前法规未严格地对测试过程中的驾驶行为进行评判以及对试验结果进行进一步修正,造成不同驾驶行为下的RDE测试结果具有较大差异,导致试验结果超过法规限值。

3.2 窗口动力学分析

图5为不同驾驶行为下RDE试验的窗口动力学 $v \cdot a_{pos}$ [95]分布图。其中,通过以60.0 km/h和90.0 km/h为阈值对WLTC标准测试数据进行分组,并分别计算出各组数据的平均速度和动力学特征 $v \cdot a_{pos}$ [95],得到WLTC基准线;WLTC限制线根据RDE法规动力学验证标准得到。由图5可知,激烈驾驶行为下的RDE窗口与正常驾驶行为下的窗口具有明显的区分程度。其中,激烈驾驶行为下各窗口分布明显靠近WLTC限制线;正常驾驶行为下的各窗口基本分布在WLTC基准线上下。此外,在市区路段下由于市区内复杂的交通状况以及红绿灯的存在,造成在该路段不同驾驶行为下的窗口差异较小,基本分布在WLTC基准线附近。在市郊路段,随着行驶状况的改善,在符合法规的基础上允许驾驶行为激烈程度具有较大的变化,因而激烈驾驶行为下窗口的 $v \cdot a_{pos}$ [95]急剧增高。对高速路段进行分析则可以发现,在该区间不同驾驶行为下各窗口的分布出现一定程度的混淆。这是因为在该区间车辆行驶速度较快,造成 $v \cdot a_{pos}$ [95]对加速度比较敏感,因而在该区间出现一定的混淆现象。但总体而言,在高速区间激烈驾驶行为下的窗口的分布相对于正常驾驶更靠近WLTC限值线,所以相对于CO₂移动平均窗口法,通过每个窗口的 $v \cdot a_{pos}$ [95]分布特性可以更好地对测试过程中驾驶行为的激烈程度进行评判。

图 5 窗口 $v \cdot a_{\text{pos}} [95]$ 分布图Fig. 5 window $v \cdot a_{\text{pos}} [95]$ distribution map

4 建议与讨论

由于不同驾驶行为下各窗口的 CO_2 排放特性曲线相差较小, RDE 排放法规目前不能全面排除测试过程中驾驶行为激烈程度对试验结果所造成的影响, 导致 RDE 试验结果超过法规限值。而通过对窗口的 $v \cdot a_{\text{pos}} [95]$ 进行分析则可以发现, 不同驾驶行为下的各个窗口的动力学特性 $v \cdot a_{\text{pos}} [95]$ 分布具有明显差异, 相对于 CO_2 排放特性曲线, 通过窗口的 $v \cdot a_{\text{pos}} [95]$ 分布可以明显区分驾驶行为的激烈程度。此外, 所进行的激烈驾驶行为均能通过法规行程动力学验证。因此, 建议法规修订时适当加严动力学边界条件对驾驶行为的限制, 并采用通过结合 WLTC 基准线、WLTC 限制线以及各窗口的 $v \cdot a_{\text{pos}} [95]$ 来对窗口驾驶行为激烈程度进行评判并修正试验结果。

5 结论

严格按照 RDE 试验规程, 对 3 辆不同车型以不同驾驶行为进行 6 次 RDE 对比试验, 结果表明:

1) 国六法规目前所采用的 RDE 法规所规定的动行程力学验证范围过于宽广, 未能严格限制测试过程中驾驶行为的激烈程度。通过对各个窗口的 $v \cdot a_{\text{pos}} [95]$ 分布进行分析, 表明当前法规行程动力学验证边界条件过于宽松, 建议法规修订时适当加严行程动力学验证边界条件。

2) 不同驾驶行为下的 CO_2 实际道路排放特性基本一致, 因此窗口的加权系数没有全面地反映窗口驾驶行为激烈程度, 进而不能严格地对窗口驾驶行为激烈程度进行评判和修正, 造成不同驾驶行为下的 RDE 试验结果具有很大的差异, 并导致试验结果超过法规限值。

3) 不同驾驶行为下窗口的 $v \cdot a_{\text{pos}} [95]$ 分布特性具有显著差异性, 提出通过窗口的 $v \cdot a_{\text{pos}} [95]$ 来对测试过程中驾驶行为的激烈程度进行评判, 建议法规在修订时, 考虑通过各个窗口的 $v \cdot a_{\text{pos}} [95]$ 来确定其所对应窗口的加权系数以对窗口驾驶行为的激烈程度进行评判和结果修正。

参考文献:

- [1] Sileghem L, Bosteels D, May J, et al. Analysis of vehicle emission measurements on the new WLTC, the NEDC and the CADC[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2014, 32: 70-85.
- [2] André M. The ARTEMIS European driving cycles for measuring car pollutant emissions[J]. Science of the Total Environment, 2004, 334/335: 73-84.
- [3] Hooftman N, Messagie M, van Mierlo J, et al. A review of the European passenger car regulations-Real driving emissions vs local air quality[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018, 86: 1-21.

- [4] 中华人民共和国环境保护部. 轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国第六阶段): GB/T 11835.6—2016[S]. 北京: 中国环境出版社, 2017.
The Ministry of Environmental Preservation of the People's Republic of China. Limits and measurement methods for emissions from light-duty vehicles (China 6): GB/T 11835.6—2016 [S]. Beijing: China Environmental Science Press. (in Chinese)
- [5] Kousoulidou M, Fontaras G, Ntziachristos L, et al. Use of portable emissions measurement system (PEMS) for the development and validation of passenger car emission factors[J]. *Atmospheric Environment*, 2013, 64: 329-338.
- [6] Huang C, Lou D M, Hu Z Y, et al. A PEMS study of the emissions of gaseous pollutants and ultrafine particles from gasoline-and diesel-fueled vehicles[J]. *Atmospheric Environment*, 2013, 77: 703-710.
- [7] Luján J M, Bermúdez V, Dolz V, et al. An assessment of the real-world driving gaseous emissions from a Euro 6 light-duty diesel vehicle using a portable emissions measurement system (PEMS)[J]. *Atmospheric Environment*, 2018, 174: 112-121.
- [8] O'Driscoll R, ApSimon H M, Oxley T, et al. A Portable Emissions Measurement System (PEMS) study of NO_x and primary NO₂ emissions from Euro 6 diesel passenger cars and comparison with COPERT emission factors [J]. *Atmospheric Environment*, 2016, 145: 81-91.
- [9] Varella R A, Faria M V, Mendoza-Villafuerte P, et al. Assessing the influence of boundary conditions, driving behavior and data analysis methods on real driving CO₂ and NO_x emissions[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 658: 879-894.
- [10] 付秉正, 杨正军, 尹航, 等. 轻型汽油车实际行驶污染物排放特性的研究[J]. *汽车工程*, 2017, 39(4): 376-380.
FU Bingzheng, YANG Zhengjun, YIN Hang, et al. A research on the real driving emission characteristics of light-duty gasoline vehicles[J]. *Automotive Engineering*, 2017, 39(4): 376-380. (in Chinese)
- [11] Gallus J, Kirchner U, Vogt R, et al. Impact of driving style and road grade on gaseous exhaust emissions of passenger vehicles measured by a Portable Emission Measurement System (PEMS)[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2017, 52: 215-226.
- [12] 宋彬, 葛蕴珊, 尹航, 等. 行驶动力学参数对RDE实验结果的影响研究[J]. *汽车工程*, 2018, 40(4): 389-395, 442.
SONG Bin, GE Yunshan, YIN Hang, et al. A study on the effects of driving dynamics parameters on the results of RDE test[J]. *Automotive Engineering*, 2018, 40(4): 389-395, 442. (in Chinese)

(编辑 张 革)