

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2020.021

累计正海拔增量对轻型汽油车实际行驶 排放试验的影响

邹杰¹, 杜宝程^{1,2}, 岳大俊¹, 陈凌建¹, 徐划龙², 张力¹

(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:中国西南地区路面起伏大,对汽车实际行驶排放(real driving emission, RDE)有较大影响。为此,选择1辆满足国六排放标准的轻型汽油车在4条不同累计正海拔增量路线上进行RDE试验,分析了路段和窗口的累计正海拔增量、动力学参数 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 与污染物排放因子(CO、CO₂、NO_x、PN)的相关性。结果表明:在路段中,污染物排放与累计正海拔增量、 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 相关性不强。在窗口中,当 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 较大,CO排放与累计正海拔增量具有明显相关性;CO₂排放随着累计正海拔增量增大而增大,受到 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 影响较小;NO_x排放与累计正海拔增量、 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 明显不相关;当 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 较大,PN排放与累计正海拔增量具有明显相关性,当 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 较小,PN排放与累计正海拔增量明显不相关。建议对市区、市郊和高速路段的累计正海拔增量分段设限。

关键词:实际行驶排放;累计正海拔增量;动力学参数;排放因子

中图分类号:U467.1

文献标志码:A

文章编号:1000-582X(2021)12-043-11

Impact of cumulative positive elevation gain on real driving emission test of light-duty gasoline vehicle

ZOU Jie¹, DU Baocheng^{1,2}, YUE Dajun¹,

CHEN Lingjian¹, XU Hualong², ZHANG Li¹

(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 Southwest China, the road surface fluctuates greatly, which has a great influence on the real driving emissions. In this paper, RDE (real driving emission) tests on four routes of different cumulative positive elevation gains were conducted by using a light-duty gasoline vehicle that meets China-6 emission regulation standards. The correlation between cumulative positive elevation gain or dynamic parameter $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ of road section and window and pollutant emission factors (CO, CO₂, NO_x and PN) was analyzed. The results show that the correlation between pollutant emissions and cumulative positive elevation gain or $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ was not strong in the road section. In the window, when $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ was large,

收稿日期:2020-06-10 网络出版日期:2020-07-03

基金项目:重庆市技术创新与应用发展项目(CSTC2019JSCX-MSXMX0016)。

Supported by Chongqing Technology Innovation and Application Development Project (CSTC2019JSCX-MSXMX0016).

作者简介:邹杰(1994—),男,重庆大学硕士研究生,主要从事车辆排放及控制研究。

通讯作者:杜宝程(1979—),男,高级工程师,(E-mail)dubaocheng@caeri.com.cn。

there was a significant correlation between CO emission and cumulative positive elevation gain. CO₂ emission increased with the increase of cumulative positive elevation gain, and was less affected by $v \cdot a_{\text{pos}}$ [95]. No significant correlation was found between NO_x emission and cumulative positive elevation gain or $v \cdot a_{\text{pos}}$ [95]. In the range of high $v \cdot a_{\text{pos}}$ [95], PN emission had a significant correlation with cumulative positive elevation gain, while in the range of low $v \cdot a_{\text{pos}}$ [95], PN emission had no significant correlation with cumulative positive elevation gain. The suggestion is to set different limits on the cumulative positive elevation gain of urban, rural and motorway sections.

Keywords: RDE; cumulative positive elevation gain; dynamic parameter; emission factor

机动车道路排放是大气污染的主要原因之一,特别是在大、中城市的主要干道污染尤为严重。中国汽车的保有量在 2018 年达到了 2.4 亿辆,并且连续多年产销量位居世界第一^[1]。为了控制车辆排放以减少大气污染物的生成,国内于 2017 年引入了实际行驶排放测试程序,作为 WLTC(world light duty test cycle)测试循环的补充试验。RDE(real driving emission)作为国六排放法规的 II 型试验,用于检测和限制车辆在实际驾驶条件下的污染物排放量,已逐步在全国范围内实施。

近年来,国内外大量学者都开展了车辆实际行驶排放的测试研究。现有结论表明,RDE 试验的污染物排放量与实验室使用 WLTC 循环的结果之间有显著差异,大多数的实际行驶试验结果远高于实验室标准测试程序^[2-6]。此外,车辆实际行驶排放的测量结果可重复性较差。这是由于 RDE 试验的海拔条件^[7]、环境温度^[8]、交通状况^[9]、驾驶行为^[10]、道路坡度^[11]及车辆起动状态^[12]等测试因素不确定性较高,这些试验边界因素影响着 RDE 的测试结果。虽然国六排放法规中对一些试验边界做了较为详细的规定,但这些限制条件难以有效消除试验边界因素对车辆实际行驶排放测试的影响。特别是在中国西南地区,由于路面起伏较大导致测试路线的坡度变化较为明显,有必要深入探究坡度对在这些区域开展的 RDE 试验结果的影响。

现有研究中,Gallus 等^[13]使用便携式排放测试系统(portable emission measurement system, PEMS)在符合 RDE 测试要求的路线上检测了 2 辆柴油车排放特性,结果发现 CO₂和 NO_x的排放量与道路坡度呈良好的线性关系,坡度从 0%~5%变化时,CO₂与 NO_x排放物分别增加了 65%~81%和 85%~115%。里斯本大学 Varella 等^[14]在葡萄牙里斯本的大都市区进行了 RDE 测试,发现车辆 CO₂排放峰值主要出现在速度为 120~140 km/h 且坡度在 5%~10%之间的路段,NO_x排放峰值主要出现在中速高坡度和高速中等坡度路段。长安大学孙文圃等^[15]仿真模拟了高速公路纵坡段下柴油车的碳排放量,发现柴油车在上坡段的碳排放最为严重。在相关研究中,国内外学者主要关注坡度对柴油车实际行驶排放的影响,而对轻型汽油车的研究较少,并且未同国六法规联系起来,没有从累计正海拔增量这方面考虑其对车辆实际行驶排放的影响。

鉴于以上因素,笔者使用 PEMS 设备对 1 辆轻型汽油车在不同路线上进行多次 RDE 试验。分析过程中选取了累计正海拔增量作为坡度的特征指标,从路段和窗口 2 个方面研究了其对 RDE 试验结果的影响。

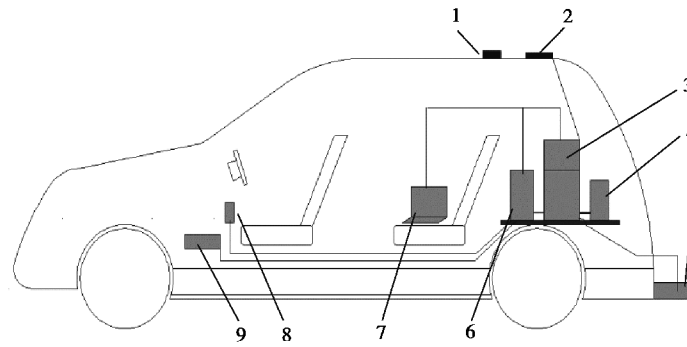
1 试验方案

1.1 试验车辆

试验所选的测试车辆为 1 辆满足国六排放标准的轻型自动挡汽油车,配有三元催化器排气后处理装置和汽油机颗粒捕集器,使用 92 号汽油,整备质量为 2 060 kg,供油方式为缸内直喷,发动机排量 2 L,最大功率 180 kW,已行驶里程 18 450 km。

1.2 试验设备

试验采用日本 HORIBA 公司生产的 OBS-ONE 便携式排放测试系统,对轻型汽油车在实际道路上行驶时产生的排放进行测试。该设备主要由气体分析模块、颗粒物计数模块、排气流量计、全球定位系统、气象站、电控单元和电源组成。试验设备安装见图 1,实物图见图 2。



1.GPS;2.气象站;3.OBS-ONE 主要单元;4.气罐;5.附加排气管;
6.电源;7.控制电脑;8.紧急开关;9.OBD 接口

图 1 PEMS 设备安装示意图

Fig. 1 The installation instruction of PEMS

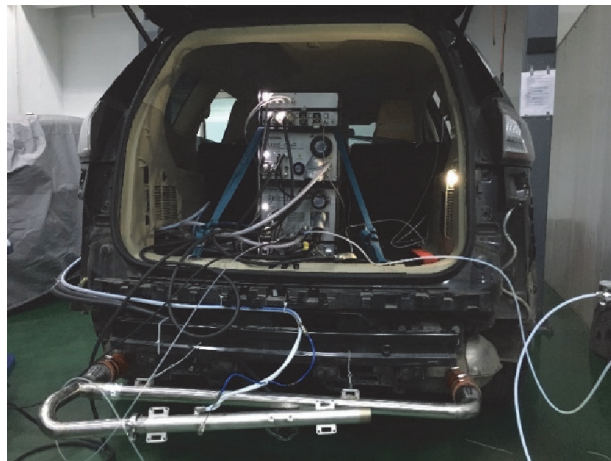


图 2 安装实物图

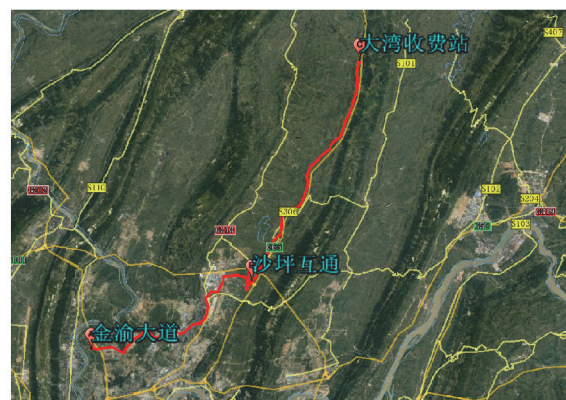
Fig. 2 Installation drawing

1.3 试验过程及路线

在重庆渝北区、江津区等地选取了 4 条路线,每条路线上进行了 2 次 RDE 试验。试验过程严格按照国六法规进行,所有路线的特征符合法规要求(累计正海拔高度增加量除外)。4 条实际行驶路线如图 3 所示。



(a) 路线1



(b) 路线2

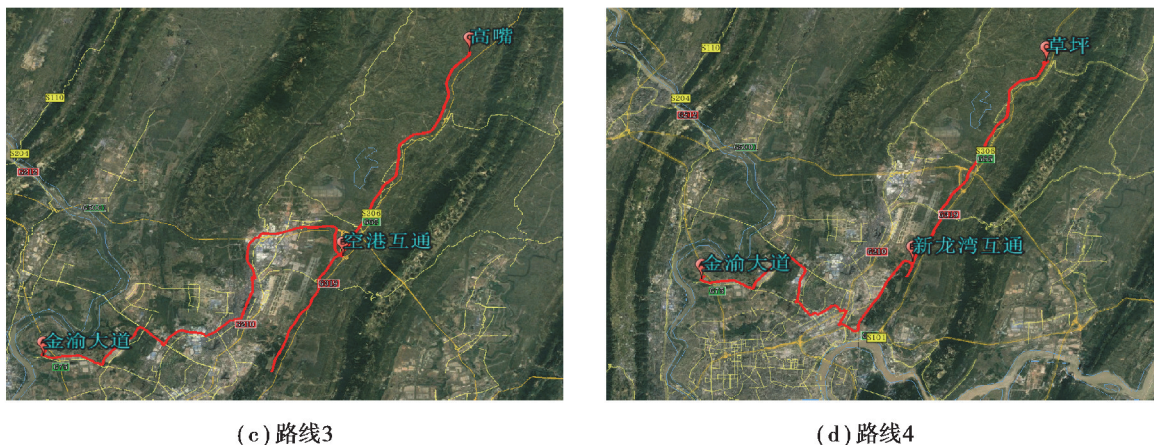


图 3 试验路线

Fig. 3 Experimental routes

2 数据处理

对采集到的试验数据进行各种参数的时间校正,按照法规要求剔除冷启动数据、试验过程中发动机熄火数据以及车速小于 1 km/h 数据,用移动平均窗口法对污染物排放因子进行计算。根据每个窗口的平均速度对窗口进行分组,市区窗口平均车速小于 45 km/h,市郊窗口平均速度在 45~80 km/h,高速窗口平均速度大于 80 km/h。所有试验市区、市郊和高速窗口数量均占总窗口数的 15% 以上,试验完整性通过。每次试验 50% 以上的市区、市郊和高速窗口落在特性曲线的基本公差范围内,试验正常性通过。按照法规对 RDE 试验市区(速度小于 60 km/h)、市郊(速度在 60~90 km/h 之间)和高速(速度大于 90 km/h)路段的车辆动力学特性进行校验,也都符合要求。

累计正海拔高度增量是正道路坡度的积分,单位为 m/100 km,反映了一条路线的总体上坡量的大小。累计正海拔高度增量通过以下步骤进行计算:首先检查车辆速度数据的完整性和海拔高度数据的完整性,对有错误的数据进行修正;接着计算海拔高度数据产生离散路径点及其相应插值海拔高度值,得到统一的空间分辨率(1 m),并对每个离散路径点的高度数据进行光滑处理;最后对正道路坡度进行积分,并除以总里程得到累计海拔高度增量。

3 累计正海拔增量的影响

3.1 路线累计海拔增量信息

每条路线的市区、市郊、高速和总行程的累计海拔增量信息见表 1。路线 1 的总行程累计正海拔增量比其他 3 条路线小,符合法规要求,路线 2 和路线 3 的总行程累计正海拔增量超过了法规限值。相比于路线 1,路线 2~4 的总行程累计正海拔增量分别增加了 37%,41% 和 34%。观察每条路线各路段的累计正海拔增量,发现 4 条路线的市郊和高速路段累计正海拔增量都符合法规要求,而路线 2~4 的市区累计正海拔增量远远超过法规限值,这也是导致路线 2 和 3 总行程累计海拔增量超过限值的原因。由图 3 可知,路线 1 的市区段选在了重庆江津区,路线 2~4 的市区段选在了重庆渝北区。而重庆渝北区属于主城区,相对于江津区其地势起伏较大,上下坡路面多,说明了累计正海拔增量可以较为准确地描述实际行驶路线的特征。

表 1 路线的累计正海拔增量

Table 1 Cumulative positive elevation gain of the routes

m/100 km

路线	总行程累计正海拔增量	市区累计正海拔增量	市郊累计正海拔增量	高速累计正海拔增量
1	886	1 175	454	931
2	1 218	1 928	885	791
3	1 253	2 182	1 004	744
4	1 185	1 731	1 124	685

3.2 路段累计正海拔增量对排放影响

文献[16]研究表明,同一路线上行程动力学参数对排放也有较大影响,故笔者在分析污染物排放因子随累计正海拔增量变化的规律时,也考虑了动力学参数 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 对污染物排放因子的影响。图 4~7 分别为 CO、CO₂、NO_x、PN 排放因子随 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 和累计正海拔增量变化气泡图,气泡的面积表示污染物排放因子的大小。每条路线上进行了 2 次试验,并且分为市区、市郊和高速路段 3 部分,故 1 条路线上有 6 个气泡。由图 4 可得,路线 1 同一累计正海拔增量上, $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 越大,CO 排放因子就越大,而路线 2 上却不能很好看出这个规律。路线 3 低 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 区间,同一累计正海拔增量, $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 越大,CO 排放因子有所减小。路线 4 可看到 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 在 15 m²/s³ 左右,随着累计正海拔增量增大,CO 排放因子时大时小。因此在路段中,不能得到 CO 排放因子随累计正海拔增量和 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 变化的规律。同理,分析图 5~7 也不能得到明显的规律。

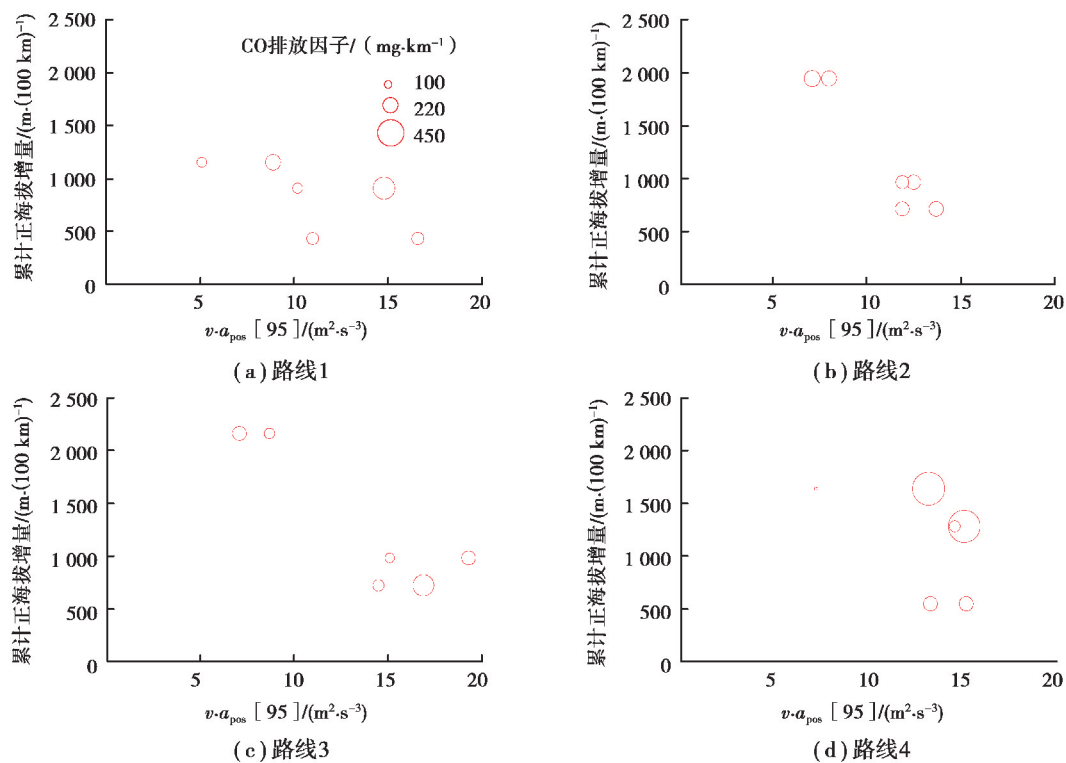


图 4 CO 排放因子随 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 和累计正海拔增量变化气泡图

Fig. 4 Bubble chart of CO emission factor change with $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ and cumulative positive elevation gain

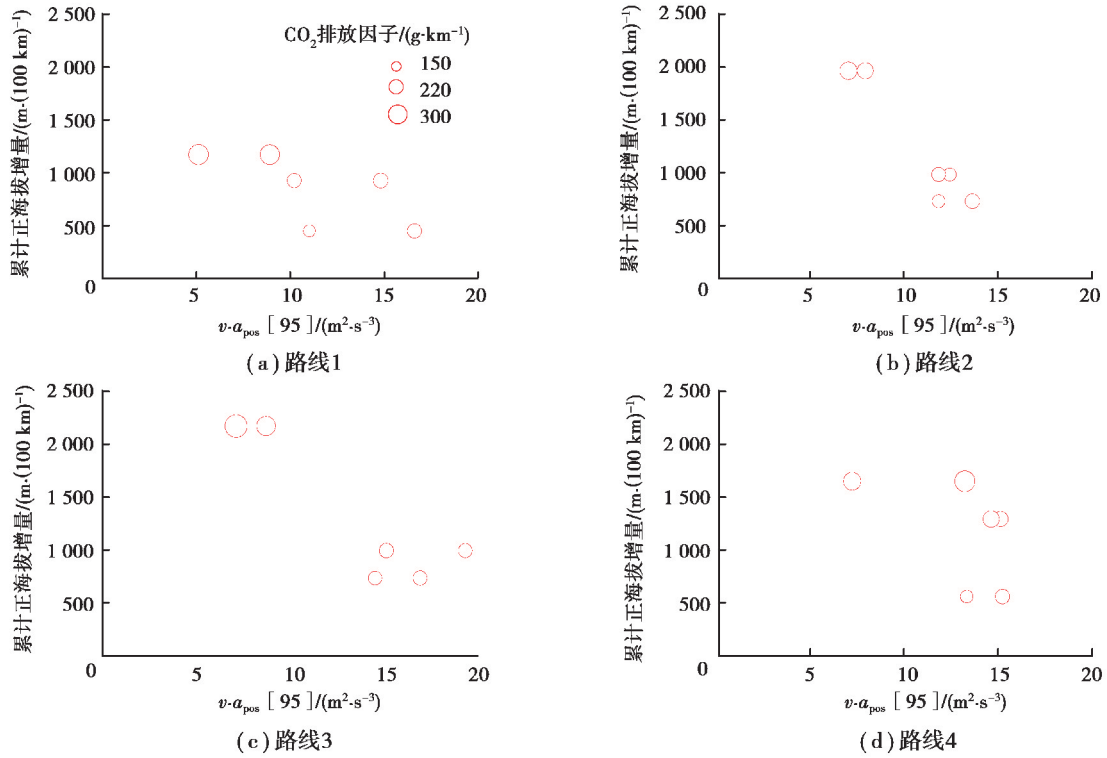


图 5 CO_2 排放因子随 $v \cdot a_{\text{pos}} [95]$ 和累计正海拔增量变化气泡图

Fig. 5 Bubble chart of CO_2 emission factor change with $v \cdot a_{\text{pos}} [95]$ and cumulative positive elevation gain

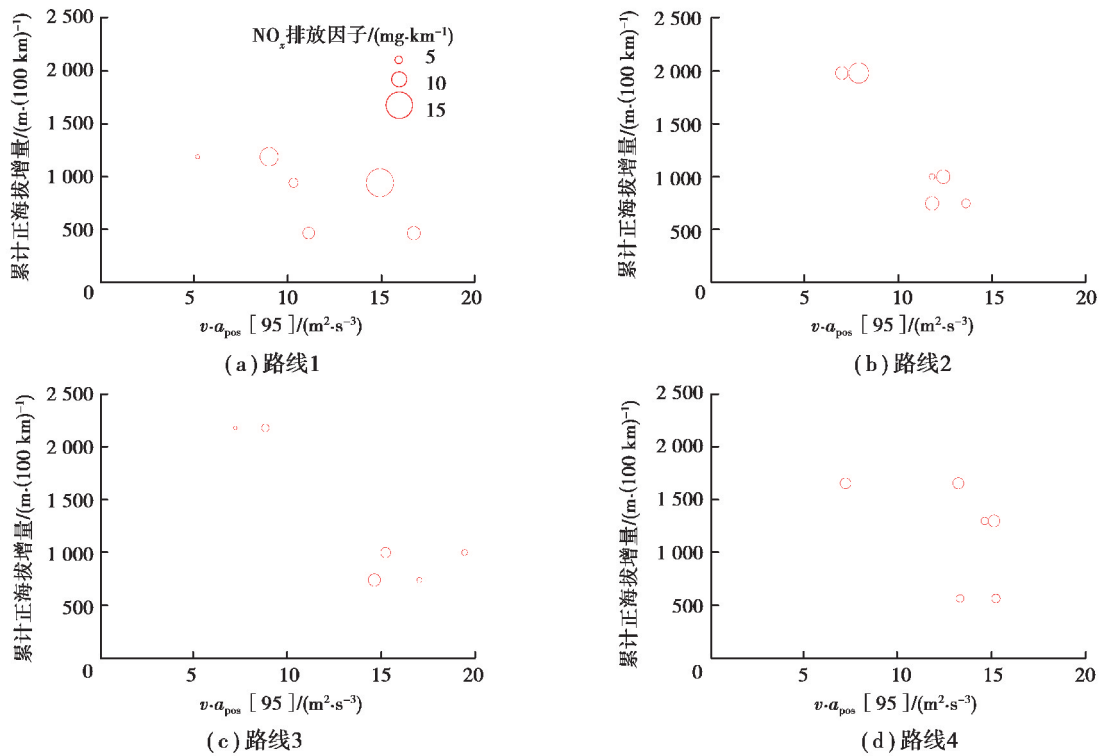
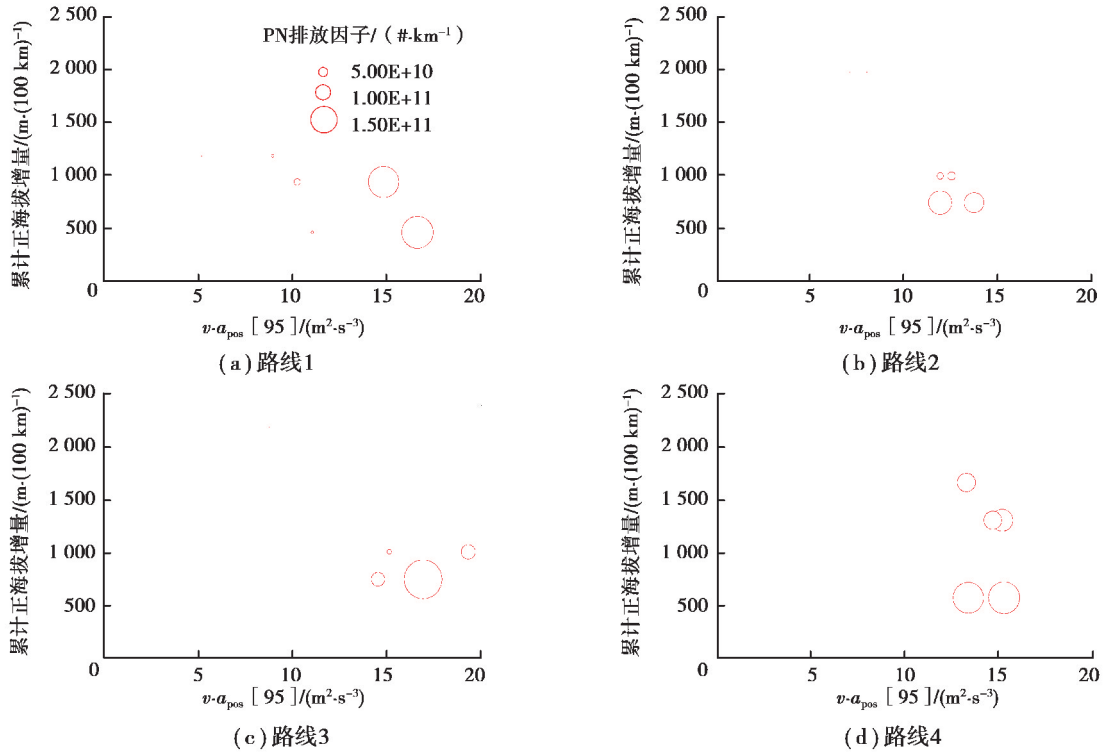


图 6 NO_x 排放因子随 $v \cdot a_{\text{pos}} [95]$ 和累计正海拔增量变化气泡图

Fig. 6 Bubble chart of NO_x emission factor change with $v \cdot a_{\text{pos}} [95]$ and cumulative positive elevation gain

图 7 PN 排放因子随 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 和累计正海拔增量变化气泡图Fig. 7 Bubble chart of PN emission factor change with $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ and cumulative positive elevation gain

3.3 窗口累计正海拔增量对排放影响

鉴于在一个路段中不能很好看出各种污染物排放因子随累计正海拔增量与 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 变化的规律,故深入到窗口之中,计算出每一个窗口中的累计正海拔增量、 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 以及污染物排放因子的大小,研究它们之间的关系。将 4 条路线同一种窗口污染物排放因子从大到小排列,把排放因子分为 3 个等级,在气泡图中用不同的颜色表示出来,排放因子随着红色、绿色、蓝色的变化而减小。4 条路线上同一种污染物排放量的大小和气泡面积的对应关系一致,即同一污染物气泡面积相同则排放因子相同。但由于 PN 排放因子变化范围过广,气泡面积差异巨大,因此 PN 排放因子的大小差异仅用颜色区分。

图 8 为 CO 排放因子随窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 和窗口累计正海拔增量变化气泡图。图中可见,在窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 和累计正海拔增量都不大的情况下,CO 排放因子受这 2 个因素的影响并不明显,如路线 1 所示,其窗口的累计正海拔增量不超过 1 500 m/100 km,窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 不超过 15 m^2/s^3 。路线 2 的窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 基本不超过 15 m^2/s^3 ,但窗口累计正海拔增量达到了 2 000~3 000 m/100 km,这远超法规的规定限值,窗口累计正海拔增量对 CO 排放因子的影响就相当明显,路线 2 中排放量最大的窗口大多集中在此区域。路线 3 的窗口累计正海拔增量最大,但其对 CO 排放因子的影响不如路线 2 中的表现突出,这是因为它的窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 更小;在窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 较大的区域,窗口累计正海拔增量对 CO 排放因子呈现很大的影响,路线 3 中最大的 CO 排放因子就出现在窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 和窗口累计正海拔增量最大的区域。路线 4 的窗口累计正海拔增量不超过 2 000 m/100 km,但窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 最大,当窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 大于 20 m^2/s^3 时,其窗口累计正海拔增量不大(约 700~800 m/100 km),此时 CO 排放也比较严重。由此可见,窗口累计正海拔增量和窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 对 CO 排放的影响是相互作用的,当窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 较小,窗口累计正海拔增量较大的区域对 CO 排放因子影响较大,当窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 较大,窗口累计正海拔增量的影响会变得相当敏感。

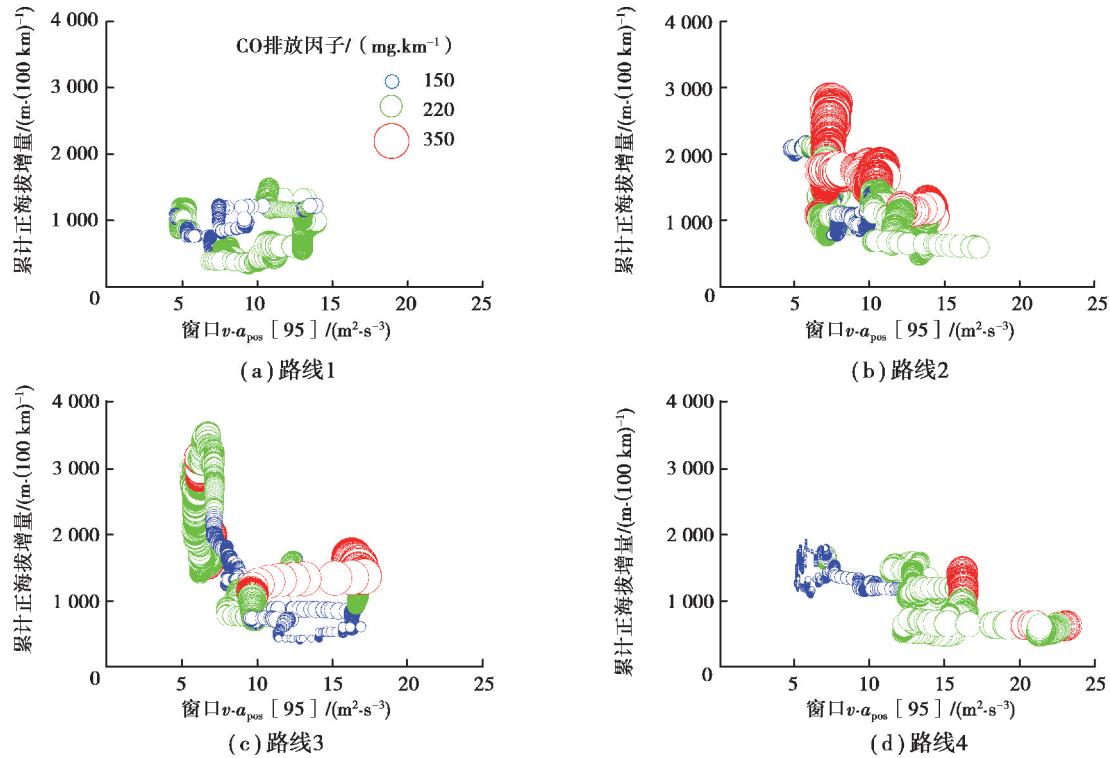
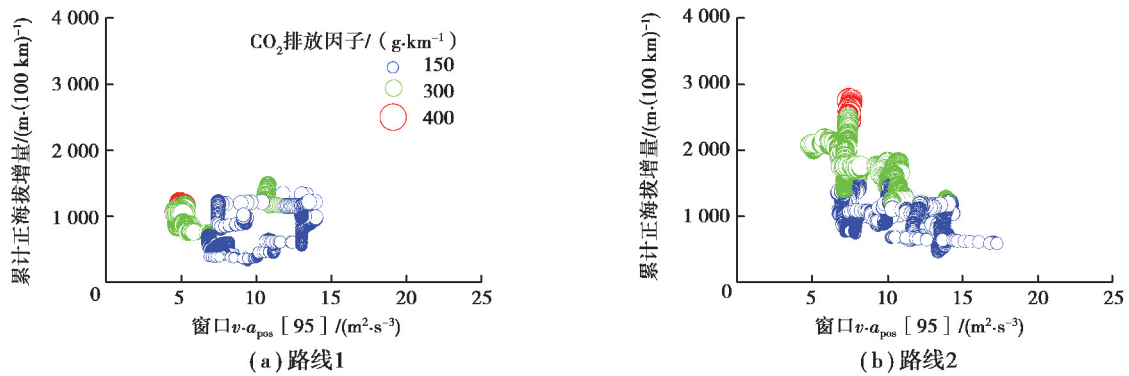


图 8 CO 排放因子随窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 和窗口累计正海拔增量变化气泡图

Fig. 8 Bubble chart of CO emission factor change with window $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ and window cumulative positive elevation gain

图 9 为 CO_2 排放因子随窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 和窗口累计正海拔增量变化气泡图。由图 9 可以看出, CO_2 排放因子主要受到窗口累计正海拔增量的影响。路线 1 的窗口累计正海拔增量是 4 条路线中最小的, 其在任何窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 范围内的 CO_2 排放因子都处于较低水平。在路线 2~4 中, 随着窗口累计正海拔增量的增加, 气泡的颜色变化顺序为蓝色、绿色、红色, 表明相应路线的 CO_2 排放因子依次增大。路线 4 有部分窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 高于 $20 \text{ m}^2/\text{s}^3$, 大于其余 3 条路线, 但由于这部分的窗口累计正海拔增量均小于 $1000 \text{ m}/100 \text{ km}$, CO_2 排放因子仍然较低, 表明窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 对 CO_2 排放因子基本无影响。由此可见, 窗口累计正海拔增量对 CO_2 排放因子有相当明显的影响, 而窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 对 CO_2 排放因子影响不明显。



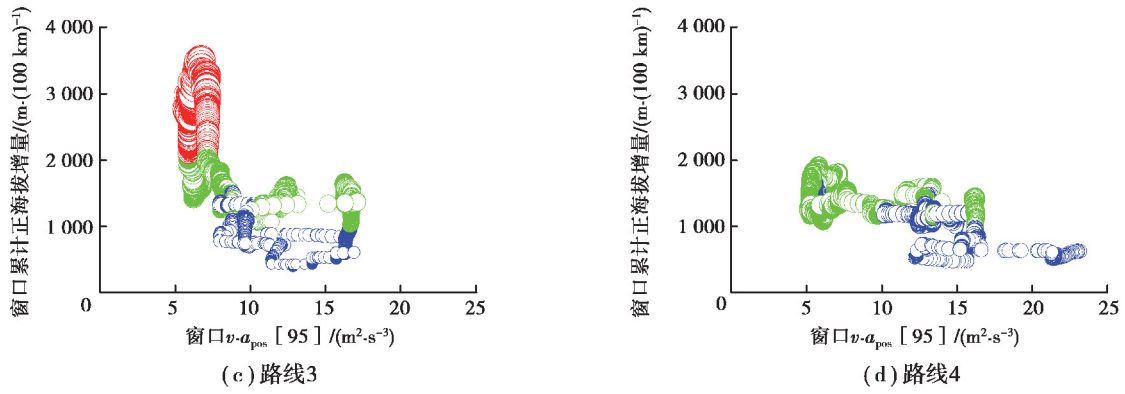


图 9 CO₂排放因子随窗口 $v \cdot a_{pos}[95]$ 和窗口累计正海拔增量变化气泡图

Fig. 9 Bubble chart of CO₂ emission factor change with window $v \cdot a_{pos}[95]$ and window cumulative positive elevation gain

图 10 为 NO_x 排放因子随窗口 $v \cdot a_{pos}[95]$ 和窗口累计正海拔增量变化气泡图。从图 10 可看出,路线 1 在各个区域的 NO_x 排放因子差别不大,窗口累计正海拔增量小的区域比窗口累计正海拔增量大的区域的 NO_x 排放因子略大;路线 2 的 NO_x 排放因子在窗口 $v \cdot a_{pos}[95]$ 较小,窗口累计正海拔增量较大的区域达到最大;路线 3 的 NO_x 排放因子受到窗口 $v \cdot a_{pos}[95]$ 和窗口累计正海拔增量的影响规律和路线 2 相反,其 NO_x 排放因子在窗口 $v \cdot a_{pos}[95]$ 较大,窗口累计正海拔增量较小的区域达到最大;路线 4 的 NO_x 排放因子的变化规律与路线 2 类似。由此可见,NO_x 排放因子在 4 条路线上随着窗口 $v \cdot a_{pos}[95]$ 和窗口累计正海拔增量的变化而无规律变化,窗口 $v \cdot a_{pos}[95]$ 和窗口累计正海拔增量对 NO_x 排放因子的影响较小,可能存在排气后处理装置、排气温度或者其他因素对 NO_x 排放因子的影响更大。

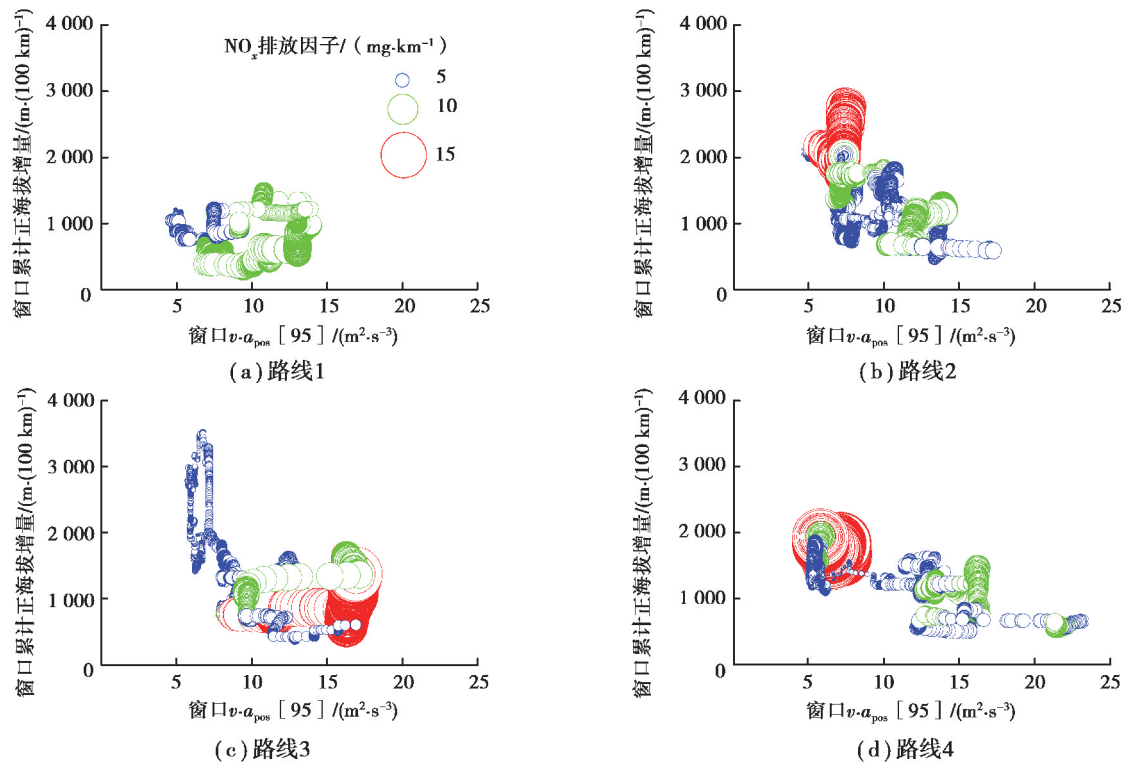


图 10 NO_x 随窗口 $v \cdot a_{pos}[95]$ 和窗口累计正海拔增量变化气泡图

Fig. 10 Bubble chart of NO_x emission factor change with window $v \cdot a_{pos}[95]$ and window cumulative positive elevation gain

图 11 为 PN 排放因子随窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 和窗口累计正海拔增量变化气泡图。由图可见, 路线 1 的 PN 排放因子一直处于较低水平, 这是因为路线 1 的窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 和窗口累计正海拔增量不大的缘故。从路线 2 和路线 3 可以反映出, 当窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 小于 $10 \text{ m}^2/\text{s}^3$, 即便窗口累计正海拔增量远超法规限值, PN 排放因子也小, 说明窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 较小, 窗口累计正海拔增量对 PN 排放因子的影响不明显。路线 2~4 中, 当窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 大于 $10 \text{ m}^2/\text{s}^3$, PN 排放因子随着累计正海拔增量的增大而增大, 表明窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 较大时, 窗口累计正海拔增量对 PN 排放因子有较为明显的影响。由此可见, 窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 较小时, 窗口累计正海拔增量对 PN 排放因子影响不明显, 窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 较大时, 窗口累计正海拔增量对 PN 排放因子影响显著, PN 排放因子随累计正海拔增量增大而增大。

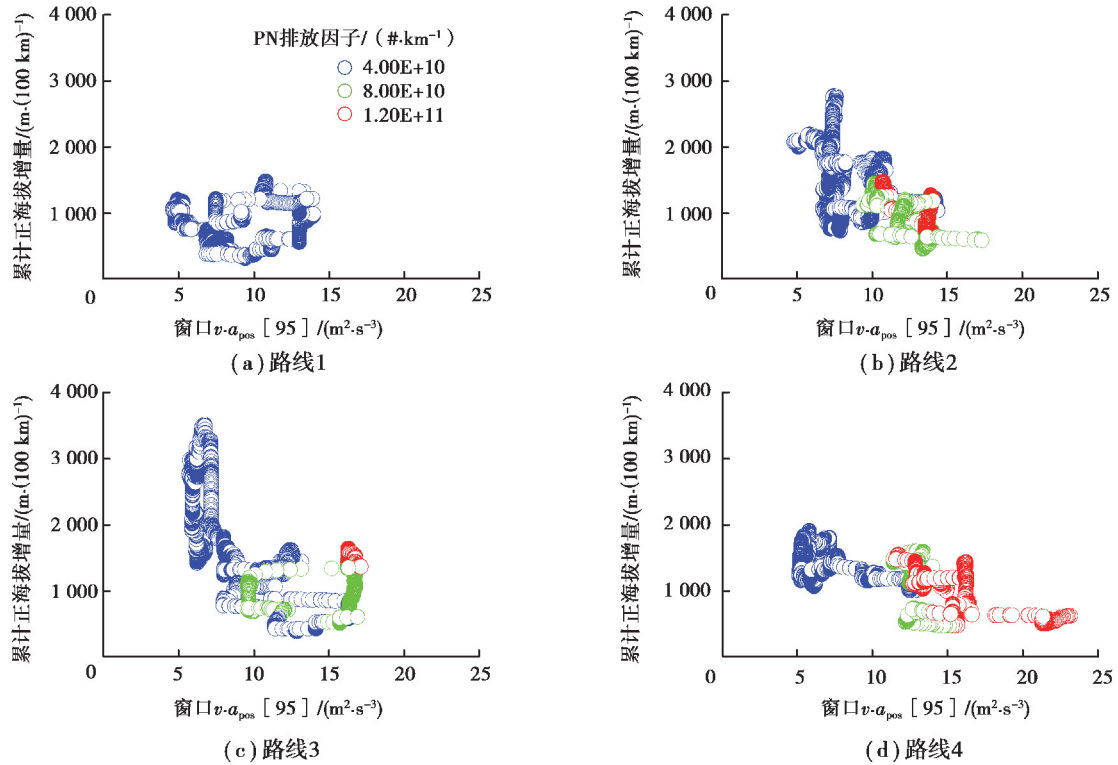


图 11 PN 排放因子随窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 和窗口累计正海拔增量变化气泡图

Fig. 11 Bubble chart of PN emission factor change with window $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ and window cumulative positive elevation gain

由上面的分析可知, 平坦路线的 RDE 试验可难以正确反映车辆在丘陵地区实际行驶排放的真实情况。另一方面, 即使是全程的累计正海拔增量在法规的限值之内, 部分路段的累计正海拔增量也可能存在大幅超过法规限值的情况, 如果采用移动平均窗口法对 RDE 数据进行处理, 则会出现窗口累计正海拔增量大幅超过 $1200 \text{ m}/100 \text{ km}$ 的情况, 从而对 RDE 测试结果产生影响。由于污染物排放因子存在与行程动力学参数的相关性, 因此可以对市区、市郊和高速路段的累计正海拔增量分段设限, 同时可将路线的中低速路段的累计正海拔增量的设限更高一点, 以便于在丘陵地区开展 RDE 试验。

4 结 论

1) 在路段中, 分析每条路线污染物排放因子随 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 和累计正海拔增量变化的规律, 发现 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 和累计正海拔增量不能很好反映污染物排放因子的变化, 故深入窗口中分析。

2) 在窗口层面, 当窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 较小, 窗口累计正海拔增量较大区域对 CO 排放因子影响明显, 当窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 较大, 窗口累计正海拔增量的影响会变得相当敏感。CO₂ 排放因子随着窗口累计正海拔增量的增大而增加, 而窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 对 CO₂ 排放因子影响不明显。窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 和窗口累计正海拔增量对 NO_x 排放因子基本无影响。窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 较小时, 窗口累计正海拔增量对 PN 排放因子影响不明显, 窗口 $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ 较大时, 窗口累计正海拔增量对 PN 排放因子影响显著, PN 排放因子随窗口累计正海拔增量增大而增大。

3)平坦路线的 RDE 试验可能难以正确反映车辆在丘陵地区实际行驶排放的真实情况,并且即使全行程的累计正海拔增量在法规的限值之内,一些窗口累计正海拔增量也可能会大幅超过 1 200 m/100 km,从而对 RDE 测试结果产生影响。建议对市区、市郊和高速路段的累计正海拔增量分段设限,同时可将路线的中低速路段的累计正海拔增量的设限更高一点,以便在丘陵地区开展 RDE 试验。

参考文献:

- [1] 本刊编辑部.《中国移动源环境管理年报(2019)》发布[J]. 中国能源, 2019, 41(10): 1.
Our editorial department.《China Mobile Source Environmental Management Annual Report (2019)》was released[J]. Energy of China, 2019, 41(10): 1. (in Chinese)
- [2] 葛蕴珊, 丁焰, 尹航. 机动车实际行驶排放测试系统研究现状[J]. 汽车安全与节能学报, 2017, 8(2): 111-121.
Ge Y S, Ding Y, Yin H. Research status of real driving emission measurement system for vehicles[J]. Journal of Automotive Safety and Energy, 2017, 8(2): 111-121. (in Chinese)
- [3] Khan T, Frey H C. Comparison of real-world and certification emission rates for light duty gasoline vehicles[J]. Science of the Total Environment, 2018, 622/623: 790-800.
- [4] 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 B Z, Yang Z J, Yin H, 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)
- [5] Triantafyllopoulos G, Dimaratos A, Ntziachristos L, et al. A study on the CO₂ and NO_x emissions performance of Euro 6 diesel vehicles under various chassis dynamometer and on-road conditions including latest regulatory provisions[J]. Science of the Total Environment, 2019, 666: 337-346.
- [6] Fontaras G, Franco V, Dilara P, et al. Development and review of Euro 5 passenger car emission factors based on experimental results over various driving cycles[J]. Science of the Total Environment, 2014, 468/469: 1034-1042.
- [7] Liu J, Ge Y S, Wang X, et al. On-board measurement of particle numbers and their size distribution from a light-duty diesel vehicle: Influences of VSP and altitude[J]. Journal of Environmental Sciences, 2017, 57(7): 238-248.
- [8] Ko J, Jin D, Jang W, et al. Comparative investigation of NO_x emission characteristics from a Euro 6-compliant diesel passenger car over the NEDC and WLTC at various ambient temperatures[J]. Applied Energy, 2017, 187: 652-662.
- [9] 宋国华, 于雷, 莫飞, 等. 混合动力车与传统汽油车的排放对比试验研究[J]. 汽车工程, 2007, 29(10): 865-869.
Song G H, Yu L, Mo F, et al. A comparative experimental study on the emissions of HEV and conventional gasoline vehicle[J]. Automotive Engineering, 2007, 29(10): 865-869. (in Chinese)
- [10] 李岳兵, 杜宝程, 张运, 等. 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[J]. 重庆大学学报, 2019, 42(6): 26-33.
Li Y B, Du B C, Zhang Y, et al. Validity analysis of China-6 emission regulation on judging the fierceness of driving behavior in RDE test[J]. Journal of Chongqing University, 2019, 42(6): 26-33. (in Chinese)
- [11] Kim W G, Kim C K, Lee J T, et al. Fine particle emission characteristics of a light-duty diesel vehicle according to vehicle acceleration and road grade[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2017, 53: 428-439.
- [12] Weber C, Sundvor I, Figenbaum E. Comparison of regulated emission factors of Euro 6 LDV in Nordic temperatures and cold start conditions: Diesel- and gasoline direct-injection[J]. Atmospheric Environment, 2019, 206: 208-217.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 孙文圃, 许金良, 景立竹, 等. 基于 MOVES 的高速公路纵坡段载重柴油车辆碳排放预测模型的研究[J]. 公路交通科技, 2015, 32(12): 144-150.
Sun W P, Xu J L, Jing L Z, et al. Study on carbon emission prediction model of heavy-duty diesel vehicle in expressway longitudinal slope sections based on MOVES[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2015, 32(12): 144-150. (in Chinese)
- [16] 杨长志, 杜宝程, 李岳兵, 等. 行程动力学参数与污染物排放特性的相关性分析[J]. 重庆大学学报, 2021, 44(7): 14-25.
Yang C Z, Du B C, Li Y B, et al. Correlation analysis of driving dynamic parameters and RDE characteristics[J]. Journal of Chongqing University, 2021, 44(7): 14-25. (in Chinese)