

## 重型柴油车车载排放实测与加载影响研究

黄成<sup>1</sup>, 陈长虹<sup>1\*</sup>, 景启国<sup>1</sup>, 潘汉生<sup>1</sup>, 王海鲲<sup>2</sup>, 李莉<sup>1</sup>, 黄海英<sup>1</sup>, 赵静<sup>2</sup>, 戴懿<sup>2</sup>, 王少俊<sup>2</sup>, 蔺宏轶<sup>2</sup>,  
Matthew Barth<sup>3</sup>, Richard Nikkila<sup>3</sup>

(1. 上海市环境科学研究院, 上海 200233; 2. 华东理工大学资源与环境工程学院, 上海 200237; 3. 美国加州大学河畔分校, 河畔市美国)

**摘要:** 采用车载排放测试仪, 对 2 辆重型柴油卡车在空载和加载条件下进行实际道路车载排放测试. 通过分析获得了油耗与排放速率的速度-加速度及其工况点的分布, 发现高油耗与高排放工况点主要集中在高速加速区域, 加载时油耗与排放高值随工况点分布更广; 车辆在  $(30 \pm 2.5) \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  等速及加速行驶时受加载影响最大, 此时加载油耗与排放约是空载的 1.6~3.2 倍左右; 由实测结果发现, 卡车 I 和卡车 II 加载时油耗及 CO、HC、NO<sub>x</sub> 排放因子分别是空载的 1.6 倍、3.5 倍、1.1 倍、1.5 倍以及 1.2 倍、1.0 倍、0.9 倍和 1.5 倍, 加载对油耗与 NO<sub>x</sub> 排放影响最为明显, 对 HC 影响最小, CO 影响取决于车辆保养水平; 卡车 II 较卡车 I 车型更大, 发动机功率更高, 相同荷载时受加载影响较小, 说明重型车在发动机负荷可承受的范围内合理装载, 有助于避免油耗与排放恶化, 提高燃油经济性和排放水平.

**关键词:** 重型柴油车; 车载测试仪; 加载; 排放因子

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2006)11-2303-06

## Study of On-Board Emission Measurement for Heavy-Duty Diesel Vehicle and Its Impact with Load

HUANG Cheng<sup>1</sup>, CHEN Chang-hong<sup>1</sup>, JING Qi-guo<sup>1</sup>, PAN Han-sheng<sup>1</sup>, WANG Hai-kun<sup>2</sup>, LI Li<sup>1</sup>, HUANG Hai-ying<sup>1</sup>, ZHAO Jing<sup>2</sup>, DAI Yi<sup>2</sup>, WANG Shao-jun<sup>2</sup>, LIN Hong-yi<sup>2</sup>, Matthew Barth<sup>3</sup>, Richard Nikkila<sup>3</sup>

(1. Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai 200233, China; 2. Resources and Environmental Engineering Institute, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China; 3. University of California, Riverside, USA)

**Abstract:** Real world vehicle emission tests were conducted on two heavy-duty diesel trucks on un-loaded and loaded condition by using a portable emission measurement system. By analysis, the results indicate high fuel consumption and emission rates are concentrated on the high speed and acceleration areas of the speed-acceleration emission maps and the areas are much wider on loaded condition. The impact of load on fuel use and emissions will be highest while the vehicle is cruising or accelerating on  $(30 \pm 2.5) \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , which are 1.6~3.2 times of those on un-loaded condition. Synthetically, the comprehensive fuel consumption and CO, HC, NO<sub>x</sub> emission factors of truck I and truck II on loaded condition are respectively 1.6, 3.5, 1.1, 1.5 times and 1.2, 1.0, 0.9, 1.5 times of those without load. Load has greatest impact on fuel consumption and NO<sub>x</sub> emission and less effect on HC emission. As for the CO emission, it depends on the maintenance of the truck. It can be figured out from the results on two trucks that the impact of same load will be lower on a vehicle with larger type and more powerful engine, which means if one vehicle is loaded on its acceptable range of GVWR, fuel use and emissions caused by heavy loads could be decreased correspondingly.

**Key words:** heavy-duty diesel vehicle; portable emission measurement system; loaded; emission factor

机动车正成为影响我国城市环境空气质量的主要污染源<sup>[1~3]</sup>. 为解决机动车尾气污染, 研究机动车污染物排放特征是必要的基础工作. 大量基于底盘测功机的研究结果发现, 机动车尾气排放与车辆控制水平、行驶工况以及燃油质量等因素密切相关<sup>[4~7]</sup>. 为了解车辆实际行驶过程中的排放特征, De Vlieger<sup>[8]</sup>、杜青<sup>[9]</sup>、胡京南<sup>[10]</sup>等人利用车载排放测试仪进行了机动车在实际道路上的排放研究, 为实验室台架测试做了重要补充. 但是这些研究主要集中于轻型车. 对于重型车的排放研究, 目前国内仍主要依赖发动机台架测试, 由于模拟工况与真实道

路行驶工况的差异, 使得台架测试结果难以真实反映车辆实际排放状况<sup>[11]</sup>. 陈长虹等人<sup>[12]</sup>利用车载排放测试仪开展了重型柴油车实际道路排放测试, 在我国重型车实际道路排放研究方面取得了突破. 然而有关重型车加载对排放影响的报道还不多见, 本研究在重型柴油车实际道路车载实测基础上, 比

收稿日期: 2005-12-26; 修订日期: 2006-02-22

基金项目: 上海市交通环境可持续发展指标体系研究项目(00138.07)

作者简介: 黄成(1980~), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为机动车污染控制与交通环境研究, E-mail: the\_light@sohu.com

\* 通讯联系人, E-mail: chenchen2005@21cn.com

较了不同荷载条件下车辆的油耗与排放特征,旨在进一步了解重型车实际排放特性,为完善上海市机动车污染物排放清单提供重要的基础数据.

1 材料与方法

1.1 测试设备

实验采用美国 Sensors 公司生产 SEMTECH-D

车载排放测试仪,开展重型柴油车在实际道路上的排放测试.仪器可测量污染物、测试方法、检测范围等参数见表 1.仪器使用前用标准气体(英国 Fitzpatrick Container 公司)进行校准.车辆在道路上的行驶速度采用全球卫星定位系统(GPS)技术测量.环境温度与湿度采用环境传感器测量.

1.2 测试道路与车辆

表 1 测试设备规格参数

Table 1 SEMTECH-D system specification

| 污染物             | 测试方法           | 检测范围                         | 精度    | 分辨率                   |
|-----------------|----------------|------------------------------|-------|-----------------------|
| HC              | 氢火焰离子检测法(FID)  | 0~ 10 000 × 10 <sup>-6</sup> | ±2.0% | 1 × 10 <sup>-6</sup>  |
| CO              | 不分光红外分析法(NDIR) | 0~ 8%                        | ±3.0% | 10 × 10 <sup>-6</sup> |
| CO <sub>2</sub> | 不分光红外分析法(NDIR) | 0~ 20%                       | ±3.0% | 0.01%                 |
| NO              | 不分光紫外分析法(NDUV) | 0~ 2 500 × 10 <sup>-6</sup>  | ±3.0% | 1 × 10 <sup>-6</sup>  |
| NO <sub>2</sub> | 不分光紫外分析法(NDUV) | 0~ 500 × 10 <sup>-6</sup>    | ±3.0% | 1 × 10 <sup>-6</sup>  |

分别在上海选择了城市快速干道、城市主干道和城市次干道 3 种不同类型的道路开展实验.测量道路全长约 30km,3 种道路分别占测试道路总长度的 18%、46%、36%.实验时,测试车辆由漕宝路主干道出发,经外环线快速干道,由居民区次干道返回出发点.在实验过程中,测试车辆跟随车流行进,以

真实反映车辆在上海城市道路上的行驶状况.被测车辆在 1d 内先后进行 2 次平行实验,第 2d 加 5 t 负载沿相同路线进行实验.

测试车辆为上海市内随机抽取的 2 辆重型柴油卡车,分别是上海市比较具有代表性的东风和解放卡车,车辆详细技术参数见表 2.

表 2 测试车辆技术参数

Table 2 Technical information of the tested heavy-duty diesel trucks

| 测试车辆  | 出厂日期    | 行驶里程/km | 装备质量/t | 最大总质量/t | 发动机型号   | 发动机功率/kW | 尾气处理装置 |
|-------|---------|---------|--------|---------|---------|----------|--------|
| 卡车 I  | 1999.12 | 244 350 | 4.80   | 9.8     | EQ 6102 | 96       | 无      |
| 卡车 II | 2002.02 | 162 067 | 10.93  | 15.9    | CA 6110 | 125      | 无      |

2 结果与讨论

2.1 空载和加载条件下油耗与排放速率分布比较

测试仪分别记录了车辆逐秒的速度、CO、HC 和 NO<sub>x</sub> 浓度、空燃比、燃料消耗等数据.以卡车 I 为例,空载和加载实验分别获得 9 561 和 10 211 组有

效数据.将逐秒油耗与各污染物排放速率分别置于所属速度-加速度微元,取平均得到各工况点的油耗与排放分布.

2.1.1 油耗速率比较

图 1(a)和(b)所示分别为卡车 I 空载与加载条件下的油耗速率分布特征.图 1 显示,空载时,车速

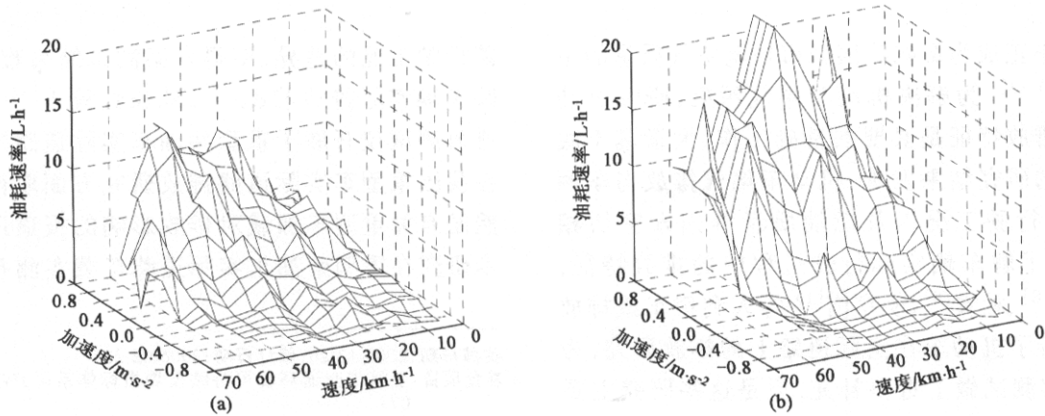


图 1 空载与加载条件下的油耗速率分布比较

Fig. 1 Comparison of fuel consumption rate on non-load and loaded condition

越快, 加速度越大, 油耗速率越高, 最大值可达  $(14.7 \pm 5.0) \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ ; 加载条件下, 高油耗点分布相对较广, 在车速高于  $20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 、加速度大于  $0.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  区间时, 油耗显著高于其他工况点, 最大值高达  $(22.4 \pm 8.8) \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ , 约是空载的 1.5 倍。

### 2.1.2 $\text{NO}_x$ 排放速率比较

图 2(a) 和(b) 所示分别为卡车 I 空载与加载条

件下的  $\text{NO}_x$  排放速率分布特征. 由图 2 可见,  $\text{NO}_x$  排放随工况点分布与油耗速率的分布趋势基本相似. 空载时  $\text{NO}_x$  高排放点多集中在高速加速区域, 最大值为  $(0.090 \pm 0.012) \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$ ; 加载时,  $\text{NO}_x$  高排放点处于车速高于  $20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 、加速度大于  $0.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  的区域, 最大值达  $(0.115 \pm 0.038) \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$ , 是空载的 1.3 倍。

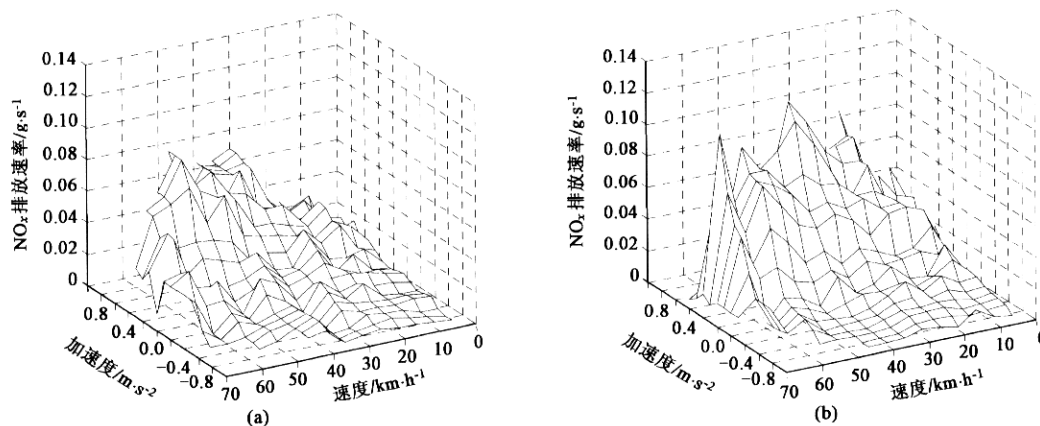


图 2 空载与加载条件下的  $\text{NO}_x$  排放速率分布比较

Fig. 2 Comparison of  $\text{NO}_x$  emission rate on un-loaded and loaded condition

### 2.1.3 CO 排放速率比较

图 3(a) 和(b) 所示分别为卡车 I 空载与加载条件下的 CO 排放速率分布特征. 图 3 结果显示, 空载条件下, CO 排放速率在低速和减速工况下普遍较低, 当车速超过  $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  后, 排放开始恶化, 从而

造成 CO 排放陡增, 最大值达到  $(0.92 \pm 0.49) \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$ ; 加载条件下, CO 排放速率相对空载时较高, 在车速高于  $15 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  的所有加速区内, 排放恶化点频繁出现, 最大值达到  $(1.23 \pm 0.84) \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$ , 约是空载的 1.3 倍。

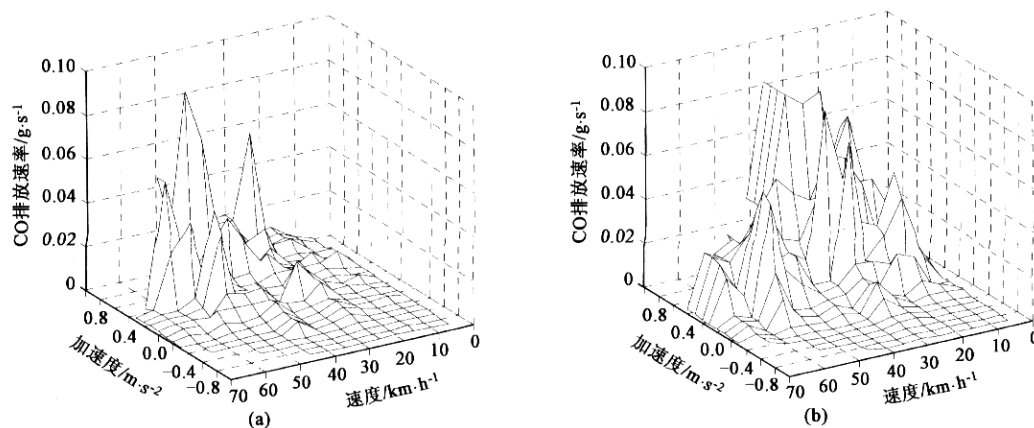


图 3 空载与加载条件下的 CO 排放速率分布比较

Fig. 3 Comparison of CO emission rate on un-loaded and loaded condition

### 2.1.4 HC 排放速率比较

图 4(a) 和(b) 所示分别为卡车 I 空载与加载条件下的 HC 排放速率分布特征. 图 4 显示, 空载时 HC 排放速率最大值为  $(0.026 \pm 0.008) \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$ , 加速

区排放值略高; 加载时 HC 最大值为  $(0.030 \pm 0.013) \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$ , 约是空载的 1.2 倍. 高排放主要集中在车速低于  $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  的加速区域, 随着车速加快, HC 排放由于发动机温度上升反而呈现下降趋势。

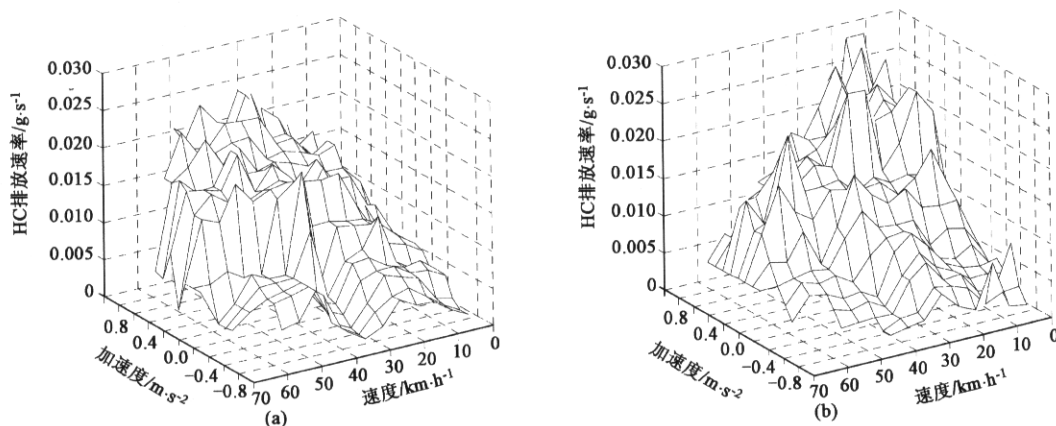


图4 空载与加载条件下的HC排放速率分布比较

Fig. 4 Comparison of HC emission rate on unloaded and loaded condition

## 2.2 加载对各工况点油耗与排放的影响

图5给出了卡车I在空载与加载条件下不同车速时,油耗与污染物排放速率随加速度的变化.图5结果显示,车辆的油耗与排放速率随加速度增加而上升,车速越高上升幅度越大.车辆加载对油耗与排放的影响

主要体现在等速和加速区域,在该区域内,加载时的油耗与排放值普遍高于同一工况条件下空载时的油耗与排放,特别是CO排放产生了明显的恶化.

为比较车辆加载对油耗与排放的影响,分别计算了主要工况点上加载与空载的油耗和排放速率之

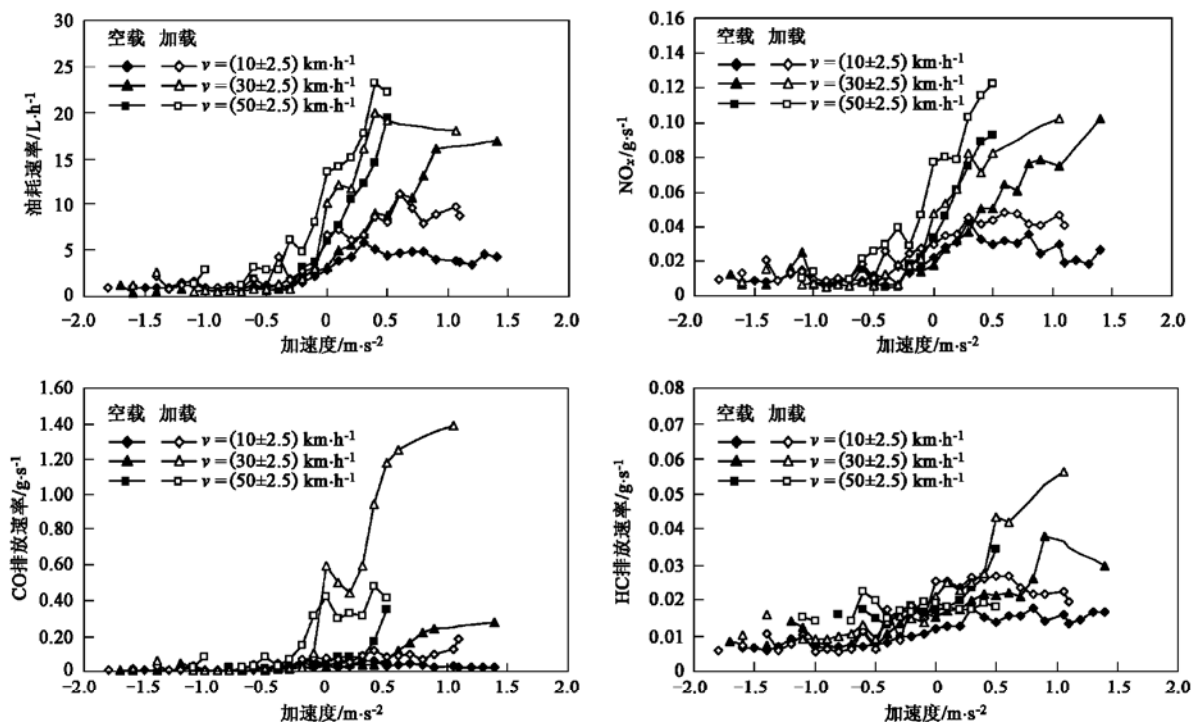


图5 各工况点在空载与加载条件下的油耗与排放结果比较

Fig. 5 Comparison of fuel and emission rate on unloaded and loaded condition on various driving patterns

比(表3).结果显示,加载对CO排放的影响最大.在车速为 $(30 \pm 2.5) \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时,加载与空载时的CO排放速率比高达19~21;HC排放受加载影响最小,高速行驶时甚至低于空载.总体而言,测试车辆在

$(30 \pm 2.5) \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 中速行驶时受加载影响最大.在该速度段内,加速度为 $0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 时,油耗、 $\text{NO}_x$ 、CO和HC排放比分别达到3.24 2.61 21.4和1.40;加速度为 $0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 时,油耗、 $\text{NO}_x$ 、CO和HC排放比

分别达到 2.19、1.61、19.0 和 2.00.

2.3 空载与加载条件下综合油耗与排放因子比较

表 3 各工况点油耗与排放速率比较

Table 3 Comparison of fuel and emission rate on various driving patterns

| 速度/ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ | 加速度= $0.0\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ |                   |        |        | 加速度= $0.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ |                   |        |        |
|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------|--------|--------|---------------------------------------|-------------------|--------|--------|
|                                   | 油耗比                                   | $\text{NO}_x$ 排放比 | CO 排放比 | HC 排放比 | 油耗比                                   | $\text{NO}_x$ 排放比 | CO 排放比 | HC 排放比 |
| 10±2.5                            | 2.31                                  | 1.36              | 2.25   | 2.08   | 1.80                                  | 1.52              | 2.89   | 1.93   |
| 30±2.5                            | 3.24                                  | 2.61              | 21.4   | 1.40   | 2.19                                  | 1.61              | 19.0   | 2.00   |
| 50±2.5                            | 2.27                                  | 2.33              | 10.0   | 1.12   | 1.15                                  | 1.32              | 1.17   | 0.53   |

表 4 所示为卡车 I 在不同荷载与运行工况条件下的油耗和排放测试结果. 表 4 结果显示, 在 2 种荷载条件下, 怠速、等速、加速及减速等各工况在总运行过程中所占的比例基本一致. 卡车 I 空载时综合油耗为每百 km 19.4 L, CO、HC 和  $\text{NO}_x$  排放因子

分别为 10.4、2.31 和  $4.35\text{ g}\cdot\text{km}^{-1}$ . 加载时油耗因子上升至每百 km 31.3 L, CO、HC 和  $\text{NO}_x$  排放因子分别增加到 36.3、2.56 和  $6.57\text{ g}\cdot\text{km}^{-1}$ , 是空载的 1.6 倍、3.5 倍、1.1 倍和 1.5 倍, 等速及加速工况下, 加载对油耗与排放影响最大.

表 4 卡车 I 空载与加载条件下的车载实验结果

Table 4 On-board test results of truck I on un-loaded and loaded condition

| 工况 | 空载       |            |               |                                     |      |               | 加载       |            |               |                                     |      |               |
|----|----------|------------|---------------|-------------------------------------|------|---------------|----------|------------|---------------|-------------------------------------|------|---------------|
|    | 工况<br>点数 | 工况比例<br>/% | 百 km 油耗<br>/L | 排放因子/ $\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$ |      |               | 工况<br>点数 | 工况比例<br>/% | 百 km 油耗<br>/L | 排放因子/ $\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$ |      |               |
|    |          |            |               | CO                                  | HC   | $\text{NO}_x$ |          |            |               | CO                                  | HC   | $\text{NO}_x$ |
| 怠速 | 1 011    | 20         |               |                                     |      |               | 1 084    | 21         |               |                                     |      |               |
| 等速 | 510      | 10         | 13.5          | 5.54                                | 1.69 | 2.94          | 536      | 10         | 27.0          | 39.3                                | 2.28 | 5.56          |
| 加速 | 1 964    | 39         | 24.8          | 13.8                                | 2.32 | 5.29          | 1 970    | 38         | 44.3          | 51.3                                | 2.70 | 8.60          |
| 减速 | 1 490    | 30         | 10.4          | 6.19                                | 1.94 | 2.64          | 1 640    | 31         | 11.7          | 12.5                                | 1.91 | 3.08          |
| 综合 | 4 975    | 100        | 19.4          | 10.4                                | 2.31 | 4.35          | 5 230    | 100        | 31.3          | 36.3                                | 2.56 | 6.57          |

卡车 II 空载时的综合油耗为每百 km 25.0 L, CO、HC 和  $\text{NO}_x$  综合排放因子分别为 3.02、2.33 和  $6.48\text{ g}\cdot\text{km}^{-1}$  (表 5). 加载时油耗因子达到每百 km 30.2 L, CO、HC 和  $\text{NO}_x$  排放因子分别为 3.05、2.08 和  $9.63\text{ g}\cdot\text{km}^{-1}$ , 是空载的 1.2 倍、1.0 倍、0.9 倍和 1.5 倍. 相对而言, 加载对油耗及  $\text{NO}_x$  排放的影响最为明显, 对 HC 排放影响最小, 对 CO 排放影响视

车辆保养情况而定. 由于卡车 II 车型相对更大, 发动机额定输出功率更高, 使卡车 II 在相同荷载条件下, 油耗以及各种污染物排放受加载影响较卡车 I 小. 这说明, 若重型车在发动机负荷可承受的范围内合理装载, 可避免由于车辆超载而造成的高油耗与高排放, 有助于控制燃油消耗, 并有效降低车辆实际行驶过程中的各种污染物排放.

表 5 卡车 II 空载与加载条件下的车载实验结果

Table 5 On-board test results of truck II on un-loaded and loaded condition

| 工况 | 空载       |            |               |                                     |      |               | 加载       |            |               |                                     |      |               |
|----|----------|------------|---------------|-------------------------------------|------|---------------|----------|------------|---------------|-------------------------------------|------|---------------|
|    | 工况<br>点数 | 工况比例<br>/% | 百 km 油耗<br>/L | 排放因子/ $\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$ |      |               | 工况<br>点数 | 工况比例<br>/% | 百 km 油耗<br>/L | 排放因子/ $\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$ |      |               |
|    |          |            |               | CO                                  | HC   | $\text{NO}_x$ |          |            |               | CO                                  | HC   | $\text{NO}_x$ |
| 怠速 | 584      | 16         |               |                                     |      |               | 825      | 19         |               |                                     |      |               |
| 等速 | 284      | 8          | 19.2          | 2.84                                | 2.16 | 4.88          | 402      | 9          | 20.2          | 2.32                                | 1.69 | 6.32          |
| 加速 | 1 524    | 41         | 36.0          | 3.38                                | 2.60 | 8.62          | 1 855    | 42         | 42.7          | 3.49                                | 2.31 | 12.5          |
| 减速 | 1 369    | 36         | 10.3          | 1.97                                | 1.61 | 3.29          | 1 354    | 31         | 11.3          | 1.80                                | 1.32 | 4.71          |
| 综合 | 3 761    | 100        | 25.0          | 3.02                                | 2.33 | 6.48          | 4 436    | 100        | 30.2          | 3.05                                | 2.08 | 9.63          |

3 结论

(1) 空载状态下, 重型柴油车油耗及排放速率主要集中在高速加速区域, 车速越快, 加速度越大, 油耗与排放越高; 加载状态下, 高油耗与高排放值随工况点分布更广, 且油耗与排放最大值普遍高于空载.

(2) 测试车辆在  $(30\pm2.5)\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  的等速和加

速行驶过程中受加载影响最大. 该工况条件下, 加载油耗与排放约是空载的 1.6~3.2 倍左右, 在车辆维护保养差的情况下, CO 排放可能严重恶化.

(3) 加载条件下, 卡车 I 和卡车 II 实际道路综合油耗以及 CO、HC 和  $\text{NO}_x$  排放水平分别是空载的 1.6 倍、3.5 倍、1.1 倍、1.5 倍以及 1.2 倍、1.0 倍、0.9 倍和 1.5 倍. 加载对油耗与  $\text{NO}_x$  排放影响最为

明显,  $HC$  排放影响最小,  $CO$  取决于车辆保养情况。

(4) 若重型车在发动机负荷可承受的范围内合理装载, 避免由于超载而造成的发动机高负荷运行, 将有助于避免油耗与排放因超载而产生恶化, 有效降低车辆排放。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 谢绍东, 张远航, 唐孝炎. 我国城市地区机动车污染现状与趋势[ J ]. 环境科学研究, 2000, **13** ( 4 ): 22~ 25.
- [ 2 ] 郝吉明, 吴烨, 傅立新, 等. 北京市机动车污染分担率研究[ J ]. 环境科学, 2001, **22** ( 5 ): 1~ 6.
- [ 3 ] 陈长虹, 方翠贞, 鲍仙华. 上海市排气污染负荷的估算[ J ]. 上海环境科学, 1997, **16** ( 6 ): 26~ 29.
- [ 4 ] Behrentz E, Ling R, Rieger P, *et al.* Measurements of nitrous oxide emissions from light-duty motor vehicles: a pilot study[ J ]. Atmospheric Environment, 2004, **38**: 4292~ 4303.
- [ 5 ] Huai T, Durbin T D, Miller J W, *et al.* Estimates of the emission rates of nitrous oxide from light-duty vehicles using different chassis dynamometer test cycles[ J ]. Atmospheric Environment, 2004, **38**: 6622~ 6629.
- [ 6 ] 周泽兴, 袁盈, 刘希玲, 等. 北京市汽车行驶工况和污染物排放系数调查研究[ J ]. 环境科学学报, 2000, **20** ( 1 ): 48~ 54.
- [ 7 ] Durbin T D, Pisano J T, Younglove T, *et al.* The effect of fuel sulfur on  $NH_3$  and other emissions from 2000~ 2001 model year vehicles[ J ]. Atmospheric Environment, 2004, **38**: 2699 ~ 2708.
- [ 8 ] De Vlieger I. On-board emission and fuel consumption measurement campaign on petrol-driven passenger cars[ J ]. Atmospheric Environment, 1997, **31** ( 22 ): 3753~ 3761.
- [ 9 ] 杜青, 杨延相, 郑伟, 等. 机动车实际道路排放特性及若干影响因素的研究[ J ]. 内燃机学报, 2002, **20** ( 4 ): 297~ 302.
- [ 10 ] 胡京南, 郝吉明, 傅立新, 等. 机动车排放车载实验及模型模拟研究[ J ]. 环境科学, 2004, **25** ( 3 ): 297~ 302.
- [ 11 ] Cocker D R, Shan S D, Johnson K, *et al.* Develop and application of a mobile laboratory for measuring emissions from diesel engines. 1. regulated gaseous emissions[ J ]. Environmental Science & Technology, 2004, **38**: 2182~ 2189.
- [ 12 ] 陈长虹, 景启国, 王海鲲, 等. 重型机动车实际排放特性与影响因素的实测研究[ J ]. 环境科学学报, 2005, **25** ( 7 ): 870~ 878.