

# 重型柴油车 NO<sub>x</sub> 排放检测现状及方法

刘宗昊<sup>1</sup>, 刘树成<sup>1\*</sup>, 刘加昂<sup>1</sup>, 苗壮<sup>2</sup>

1. 山东省机动车排气污染监控中心, 山东 济南 250102;

2. 青岛无车承运服务中心有限公司, 山东 青岛 266000

**摘要:**以山东省在用重型柴油车为研究对象,调研定期排放检验、遥感监测和远程监控在重型柴油车 NO<sub>x</sub> 排放监管中的应用现状,采用恒定转速法和自由加速法试验研究重型柴油车的 NO<sub>x</sub> 排放规律。调研结果表明:定期排放检验和遥感检测2种方法测得的车辆 NO<sub>x</sub> 排放与重型柴油车实际 NO<sub>x</sub> 排放情况不符,远程监控形式测得的 NO<sub>x</sub> 排放与实际情况相符。试验结果表明:恒定转速法和自由加速法测得的重型柴油车 NO<sub>x</sub> 体积分数能够真实反映重型柴油车 NO<sub>x</sub> 的排放规律,都可用于重型柴油车 NO<sub>x</sub> 排放的快速检测。

**关键词:**重型柴油车; NO<sub>x</sub> 排放; 检测方法

中图分类号:U491.92

文献标志码:A

文章编号:1673-6397(2024)01-0035-07

**引用格式:**刘宗昊,刘树成,刘加昂,等. 重型柴油车 NO<sub>x</sub> 排放检测现状及方法[J]. 内燃机与动力装置,2024,41(1):35-41.

LIU Zonghao, LIU Shucheng, LIU Jiaang, et al. Detection status and detection methods of NO<sub>x</sub> emission for heavy-duty diesel vehicles[J]. Internal Combustion Engine & Powerplant, 2024,41(1):35-41.

## 0 引言

化石燃料燃烧产生的污染物排放不仅危害人类健康,还造成严重的大气污染<sup>[1-3]</sup>,NO<sub>x</sub> 是大气中二次细粒子与臭氧的前驱体,会引起区域性灰霾<sup>[4]</sup>。国家已经制定了现阶段固定污染源超低排放的相关标准及监管政策,例如,为持续改善京津冀及周边地区空气质量,文献[5]要求因地制宜推动北方地区清洁取暖、工业窑炉治理、非电行业超低排放改造,加快挥发性有机物排放综合整治,NO<sub>x</sub> 和挥发性有机物排放总量分别下降10%以上。近年来,汽车等移动污染源的数量快速增长,移动源污染是我国空气污染的重要来源之一<sup>[6-7]</sup>。2021年,全国机动车 NO<sub>x</sub> 排放约为582.1万t,其中柴油车 NO<sub>x</sub> 排放已经超过机动车排放的80%<sup>[8]</sup>。因此,加强柴油车超标排放治理,特别是对重型柴油车 NO<sub>x</sub> 排放的监管十分必要。

Carlaw等<sup>[9]</sup>采用遥感检测技术对车辆的NO、NO<sub>2</sub>排放进行测量,结果表明该方法能够快速进行整车道路排放测试,但驾驶员的驾驶习惯对车辆排放的影响较大;马帅等<sup>[10]</sup>利用便携式尾气测量系统测量国六重型柴油车实际道路NO<sub>x</sub>排放,结果表明,国六重型柴油车实际道路排放控制效果良好,较高的NO<sub>x</sub>排放主要集中在急加速阶段,并在长下坡结束时出现峰值;赵琛<sup>[11]</sup>采用整车实际道路车载法、远程车载诊断系统和道路遥感测试3种方法分别分析国六重型柴油车在实际道路行驶下的NO<sub>x</sub>排放特性,结果表明,3种测试方法在排放评价中具有良好的互补性。上述研究中,采用了不同检测方法分析柴油车的NO<sub>x</sub>排放特性,但这些方法均需要车辆上路行驶一段距离,检测空间和时间范围较大。

收稿日期:2023-09-10

基金项目:山东省重点研发计划项目(2019GGX103036)

第一作者简介:刘宗昊(1991—),男,山东东营人,工学硕士,工程师,主要研究方向为机动车污染防治与监控技术,E-mail:liuzonghao@shandong.cn。

\*通信作者简介:刘树成(1970—),男,济南人,工学硕士,研究员,主要研究方向为移动源污染防治,E-mail:liushucheng@shandong.cn。

目前,山东省没有重型柴油车  $\text{NO}_x$  排放快速检测方法,无法对重型柴油车  $\text{NO}_x$  排放进行有效监管,不利于  $\text{NO}_x$  减排。因此,重型柴油车  $\text{NO}_x$  排放快速检测方法的提出已经迫在眉睫。

## 1 重型柴油车 $\text{NO}_x$ 排放检测现状

目前,山东省采用定期排放检验、遥感监测和远程监控 3 种方式对重型柴油车  $\text{NO}_x$  排放进行监管。

### 1.1 定期排放检验

定期排放检验是按照国家、地方有关规定,由机动车排放检验机构对在用机动车进行排放检验,检验合格方可上路行驶<sup>[12]</sup>。山东省重型柴油车定期排放检验执行国标《柴油车污染物排放限值及测量方法(自由加速法及加载减速法)》,其中规定柴油车尾气中  $\text{NO}_x$  最大体积分数为  $1.5 \times 10^{-3}$ <sup>[13]</sup>。2022 年 1—10 月,山东省机动车定期排放检验机构按照该标准共检测柴油车 2 314 337 辆(次),其中  $\text{NO}_x$  排放不合格 113 291 辆(次),合格率为 95.1%。

### 1.2 遥感监测

遥感监测是一种不影响道路正常通行的机动车尾气检测方式,适用于在用车排放监督抽检<sup>[14]</sup>。山东省执行国标《在用柴油车污染物测量方法及技术要求(遥感检测法)》,标准中规定装用压燃式发动机的汽车尾气中,NO 的最大体积分数为  $1.500 \times 10^{-3}$ ,该限值仅用于筛查高排放车<sup>[15]</sup>。2022 年 1—10 月,山东省已建成的 174 套遥感监测设备共检测柴油车 2 682.16 万辆(次),NO 排放不合格 27.46 万辆(次),合格率为 99%。

### 1.3 远程监控

远程监控是通过安装车载终端,利用控制器局域网总线通信协议实时采集车辆发动机控制单元中的车速、发动机转速、发动机燃料流量、发动机净输入转矩、行驶里程、进气量等信息和选择性催化还原(selective catalytic reduction, SCR)系统的牵引控制单元的 SCR 下游  $\text{NO}_x$  的体积分数,对重型柴油车的  $\text{NO}_x$  排放进行监控<sup>[16]</sup>。2022 年 1—10 月,山东省远程监控的重型柴油车尾气中  $\text{NO}_x$  平均体积分数为  $5.13 \times 10^{-4}$ ,但有 15% 的重型柴油车尾气中  $\text{NO}_x$  体积分数大于  $1.0 \times 10^{-3}$ 。

上述 3 种重型柴油车  $\text{NO}_x$  排放监管方法中,定期排放检验和遥感监测的柴油车  $\text{NO}_x$  排放合格率较高,均达到了 95% 以上,与重型柴油车  $\text{NO}_x$  排放对环境造成的污染现状不符;远程监控形式虽然能够客观反映重型柴油车的实际  $\text{NO}_x$  排放状况,但其本身只是一种直接采集运行车辆数据的手段,尚未颁布专门针对  $\text{NO}_x$  排放远程监控的标准,无法设定  $\text{NO}_x$  排放最高限值,因此远程监控不能判定车辆排放是否合格。

## 2 重型柴油车 $\text{NO}_x$ 排放检测方法

### 2.1 检测仪器及 SCR 系统工作原理

#### 2.1.1 检测仪器工作原理

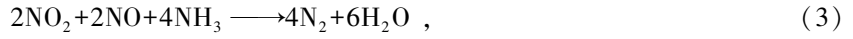
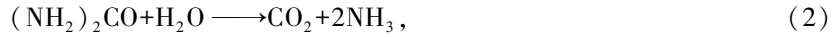
基于重型柴油车  $\text{NO}_x$  排放监管现状,参照文献[13],采用便携式五项污染物快速检测仪,利用紫外差分吸收光谱技术对重型柴油车静态排放的 NO 和  $\text{NO}_2$  2 种污染物进行检测。紫外差分吸收光谱技术主要利用空气分子对柴油车尾气的选择吸收特性( $\text{NO}_x$  与其它气体的吸收波段不同)对  $\text{NO}_x$  进行检测。紫外差分吸收光谱技术的理论基础是比尔-朗伯定律,光被吸收的量正比于光程中产生光吸收的分子数目<sup>[17]</sup>。比尔-朗伯定律适用于所有的吸光物质,包括气体、固体、液体等。根据比尔-朗伯定律,某物质的吸光度

$$A = \lg\left(\frac{I_0}{I}\right) \lg\left(\frac{1}{T}\right) = c_m a L = a \varphi L \frac{M}{V_m}, \quad (1)$$

式中: $I_0$  为入射光的强度,cd; $I$  为透射光的强度,cd; $T$  为透射比; $c_m$  为物质的量浓度,mol/L; $L$  为光程,cm; $a$  为物质的吸光系数, $\text{L}/(\text{g} \cdot \text{cm})$ ; $\varphi$  为物质的体积分数; $M$  为物质的摩尔质量,g/mol; $V_m$  为物质的摩尔体积,L/mol。

### 2.1.2 SCR 系统工作原理

目前,重型柴油车一般采用 SCR 系统降低发动机 NO<sub>x</sub> 排放。SCR 系统主要由尿素水溶液储存罐、尿素喷射系统和催化器组成,其减排原理为:利用喷射的尿素与水反应产生二氧化碳和氨气,氨气在催化器中与柴油车尾气中的 NO<sub>x</sub> 发生化学反应,生成氮气和水<sup>[18]</sup>。该过程的主要化学反应如式为:



催化器效率受排气温度的影响较大,当排气温度为 250~500 ℃时,催化器对 NO<sub>x</sub> 的转换效率可以达到 90%以上;温度过低时,NO<sub>x</sub> 的还原反应不能有效进行。

## 2.2 NO<sub>x</sub> 排放检测方法

### 2.2.1 恒定转速法

恒定转速法测量重型柴油车在静态运行时不同转速下 NO<sub>x</sub> 的稳定排放。在道路上随机选取 4 辆重型柴油车,依次检测发动机转速分别为 750(怠速)、1 000、1 500、2 000 r/min 时车辆的 NO<sub>x</sub> 排放规律。采用恒定转速法检测的重型柴油车基本信息如表 1 所示,其发动机转速和尾气中 NO<sub>x</sub> 体积分数随时间变化曲线如图 1 所示。

表 1 采用恒定转速法检测的重型柴油车基本信息

车辆编号	注册日期	排放阶段	车辆品牌	车辆类型	发动机型号
a	2020.09	国六	豪沃	重型自卸货车	D10.38-50
b	2020.08	国六	解放	重型货车	CA6DLD-26E5
c	2020.08	国六	豪沃	重型自卸货车	D10.38-50
d	2019.10	国五	大运	重型自卸货车	WP7.300E51

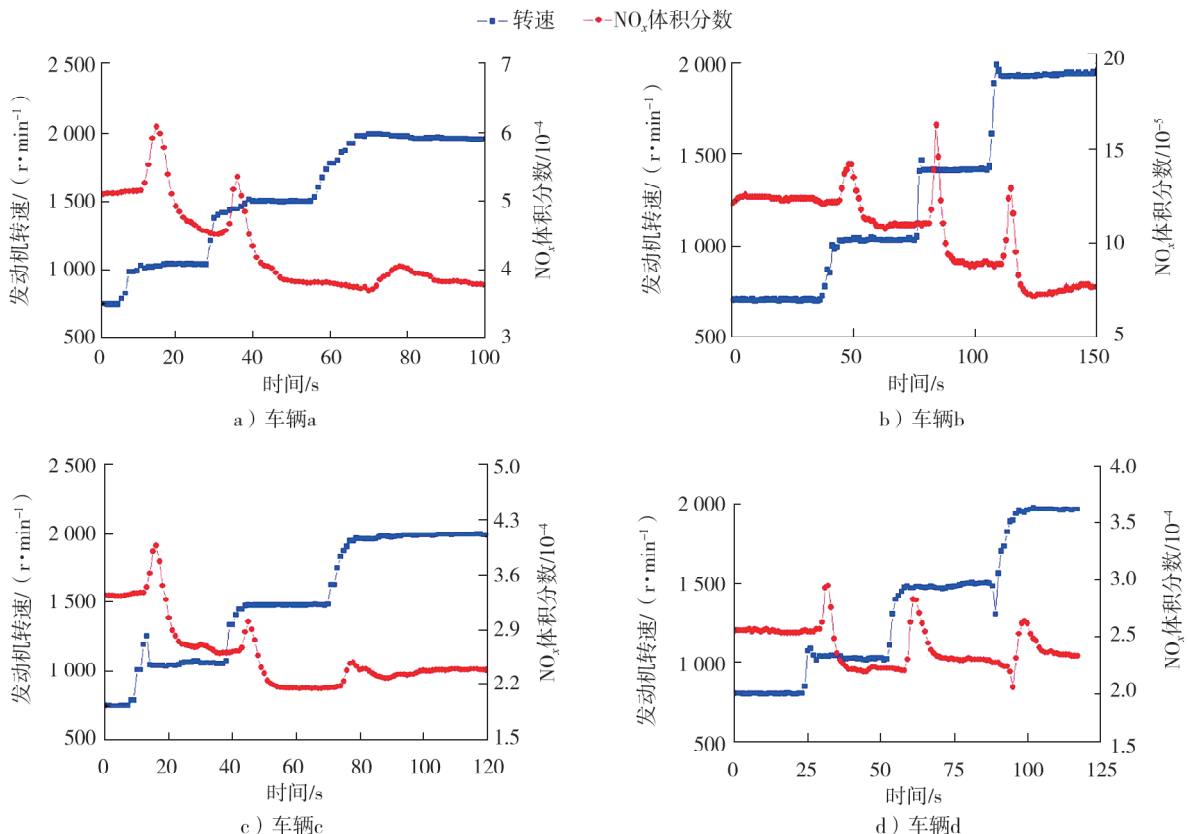


图 1 采用恒定转速法检测的重型柴油车发动机转速和 NO<sub>x</sub> 体积分数随时间变化曲线

由图1可知:4辆柴油车的 $\text{NO}_x$ 排放规律相似,在怠速转速时,车辆尾气中 $\text{NO}_x$ 体积分数最高,随着发动机转速依次增加至1 000、1 500、2 000 r/min,  $\text{NO}_x$ 体积分数呈阶梯状下降并趋于稳定,且每次发动机转速转换时,均出现 $\text{NO}_x$ 体积分数的峰值。分析原因为:满足国五及以上排放标准的车辆普遍采用SCR后处理系统,当车辆处于怠速状态时排气温度较低,SCR尿素喷射系统不喷射尿素,车辆 $\text{NO}_x$ 排放较高;车辆充分预热后,催化器处于合适的工作温度,尿素喷射系统正常工作,使得车辆的 $\text{NO}_x$ 排放不断下降。

采用恒定转速法测定的重型柴油车 $\text{NO}_x$ 体积分数均处于正常水平( $2 \times 10^{-4} \sim 8 \times 10^{-4}$ ),能够真实反映重型柴油车的 $\text{NO}_x$ 排放规律,该方法可用于重型柴油车正常工况下的 $\text{NO}_x$ 排放检测。

### 2.2.2 自由加速法

自由加速法是在车辆在静态运行时将油门踏板快速、连续、完全踩到底,检测重型柴油车在自由加速状态下的 $\text{NO}_x$ 瞬时排放。

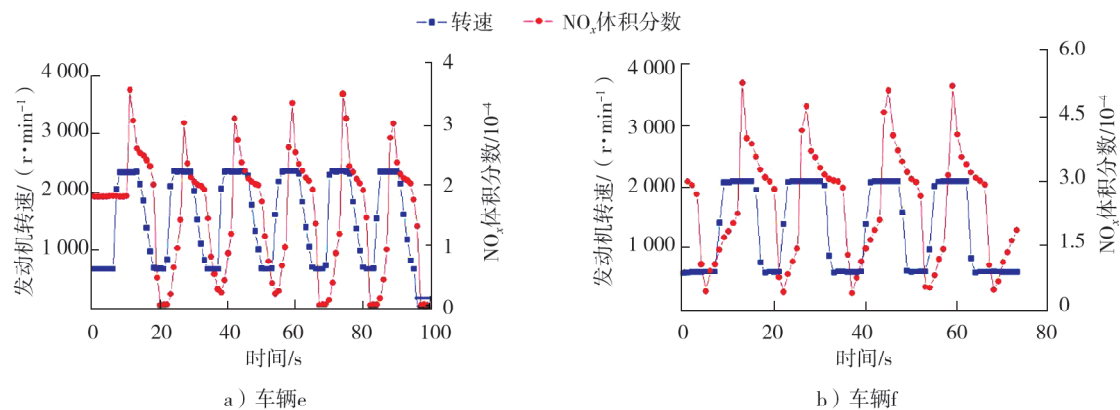
在道路上随机选取8辆重型柴油车,其基本信息如表2所示。

表2 采用自由加速法检测的重型柴油车基本信息

车辆编号	注册日期	排放阶段	车辆品牌	车辆类型	发动机型号
e	2016.08	国四	解放	重型半挂牵引车	CA6DL2-35E4
f	2021.04	国五	解放	重型半挂牵引车	CA6DM2-42E52
g	2021.09	国五	汕德卡	重型半挂牵引车	MC13.48-50
h	2020.08	国五	解放	重型半挂牵引车	CA6DM2-42E52
i	2021.09	国五	汕德卡	重型半挂牵引车	MC13.48-50
j	2018.06	国五	福田戴姆勒	重型自卸货车	BJ3253DLPKE-AD
k	2021.09	国五	汕德卡	重型半挂牵引车	MC11.44-50
m	2020.10	国五	解放	重型半挂牵引车	CA6DM2-42E52

将8辆重型柴油车充分预热,在怠速状态下,1 s内将油门踏板快速完全踩到底并稳定,使发动机转速达到额定转速,然后松开油门踏板,等待至少10 s,确保发动机稳定在怠速转速后重复操作。

采用自由加速法检测的重型柴油车发动机转速和尾气中 $\text{NO}_x$ 体积分数随时间变化曲线如图2所示。由图2可知:8辆重型柴油车的 $\text{NO}_x$ 排放均呈周期性变化;以一个周期为例,开始踩踏油门踏板,发动机转速立即增加, $\text{NO}_x$ 体积分数随之极速增加,这是由于重型柴油车开始进入正常冲程循环,柴油以雾化状态被高速喷入燃烧室,柴油中的含氮化合物与参与燃烧的氮气和氧气迅速反应生成大量的 $\text{NO}_x$ , $\text{NO}_x$ 的生成速度远大于SCR系统的响应处理速度;完全将油门踏板踩到底,使发动机转速快速增加至额定转速附近并保持不变,此时 $\text{NO}_x$ 体积分数达到本周期内的峰值并迅速下降至较低稳定水平。



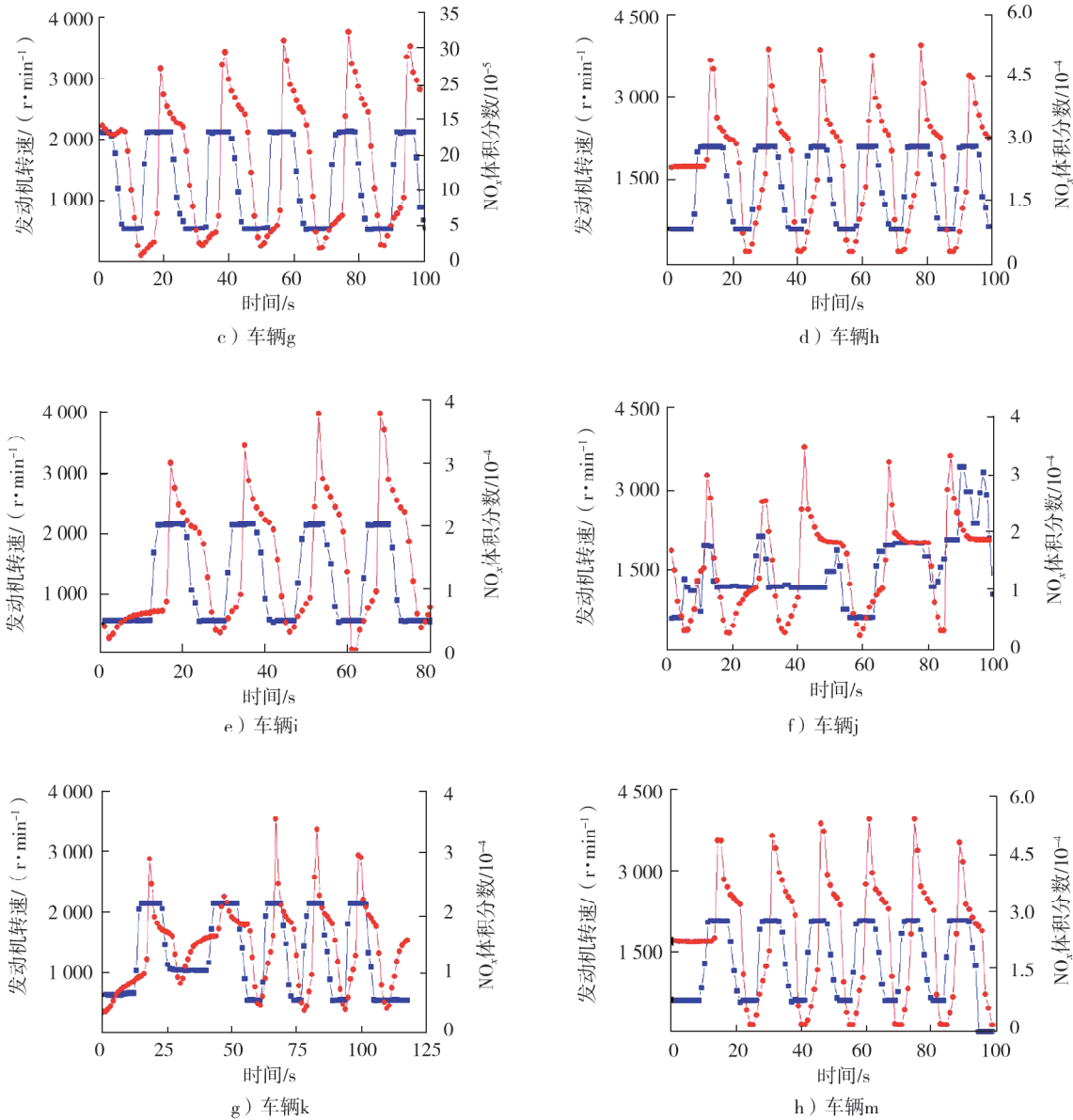


图 2 采用自由加速法检测的重型柴油车发动机转速和 NO<sub>x</sub> 体积分数随时间变化曲线

结合式(3)(4)可知,反应物浓度的增加有利于氧化还原反应的快速正向进行,SCR 系统将车辆排放的 NO<sub>x</sub> 持续转化为氮气,便携式五项污染物快速检测仪采集的 NO<sub>x</sub> 体积分数为后处理系统处理后的数据,不是发动机原始排放数据。

采用自由加速法测定的 8 辆重型柴油车 NO<sub>x</sub> 体积分数均处于正常水平,能够真实反映重型柴油车的 NO<sub>x</sub> 排放规律,该方法也能够检测重型柴油车正常工况下的 NO<sub>x</sub> 排放。

### 3 结论

在调研山东省在用重型柴油车 NO<sub>x</sub> 排放的 3 种监管方法的实际情况基础上,分析恒定转速法和自由加速法的重型柴油车的 NO<sub>x</sub> 排放规律和可行性。

1) 定期排放检验和遥感检测 2 种方法测得的车辆 NO<sub>x</sub> 排放合格率均达到 95% 以上,与重型柴油车实际 NO<sub>x</sub> 排放状况不符;远程监控形式测得的重型柴油车 NO<sub>x</sub> 排放与实际情况相符,但该方法没有 NO<sub>x</sub>

排放的国标限值,不能直接判断车辆排放是否超标。

2) 恒定转速法检测重型柴油车  $\text{NO}_x$  排放,发动机转速变化时,  $\text{NO}_x$  体积分数先快速增长随后减少并趋于稳定;转速越高,车辆  $\text{NO}_x$  排放越低。

3) 自由加速法检测重型柴油车  $\text{NO}_x$  排放,车辆发动机转速与  $\text{NO}_x$  体积分数呈现周期性变化,每次快速将油门踏板踩到底,发动机转速快速增加至额定转速附近并保持不变,  $\text{NO}_x$  体积分数呈现极速增加,达到本周期的峰值后迅速下降。

4) 恒定转速法和自由加速法能够真实反映重型柴油车  $\text{NO}_x$  排放规律,都可用于重型柴油车  $\text{NO}_x$  排放检测。

5) 在路检、路查检测重型柴油车排气烟度的同时,可使用五项污染物分析仪通过恒定转速法或自由加速法检测车辆  $\text{NO}_x$  排放,实现对重型柴油车  $\text{NO}_x$  排放的快速有效检测。

6) 在恒定转速法和自由加速法的基础上,山东省进一步抽取大量重型柴油车样本,采集  $\text{NO}_x$  排放数据,与大数据分析交叉融合确定  $\text{NO}_x$  排放限值,可提出适用于山东省省情的重型柴油车  $\text{NO}_x$  排放快速检测方法 & 标准限值。

#### 参考文献:

- [1] VAN OEVER A E M, COSTA D, MESSAGIE M. Prospective life cycle assessment of alternatively fueled heavy-duty trucks [J]. *Applied Energy*, 2023, 336:120834.
- [2] 孙世达,张改革,孙露娜,等. 河北省 2013—2020 年大气污染治理进程中的减污降碳协同效益[J]. *环境科学*, 2023, 44(10):5431-5442.
- [3] 张硕,张春梅,蔡旭,等. 面向 2035 年的氢燃料与柴油重型商用车全生命周期环境影响预测研究[J]. *环境科学研究*, 2023,36(10):1892-1904.
- [4] 周磊,王伯光,汤大钢. 重型柴油车对空气质量的影响及其排放的控制[J]. *环境科学*, 2011,32(8):2177-2183.
- [5] 中国共产党第十九届中央委员会. 中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个规划和二〇三五年远景目标的建议[Z/OL]. (2020-10-29) [2021-12-09]. [https://www.gov.cn/zhengce/2020-11/03/content\\_5556991.htm](https://www.gov.cn/zhengce/2020-11/03/content_5556991.htm).
- [6] JANG S, SONG K H, KIM D. Road-section-based analysis of vehicle emissions and energy consumption[J]. *Sustainability*, 2023,15(5):4421.
- [7] 刘瑞媛,曹聪聪,郭栋,等. 城市移动源排放特征及减排对策[J]. *交通科技与经济*, 2023, 25(4):62-67.
- [8] 中华人民共和国生态环境部. 中国移动源环境管理年报[R]. 北京:中华人民共和国生态环境部, 2022.
- [9] CARSLAW D C, RHYSTYLER G. New insights from comprehensive on-road measurements of  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_2$  and  $\text{NH}_3$  from vehicle emission remote sensing in London, UK[J]. *Atmospheric Environment*, 2013,81(2):339-347.
- [10] 马帅,黄志辉,纪亮,等. 基于车载测试的国 VI 重型柴油车  $\text{CO}_2$  和  $\text{NO}_x$  排放研究[J]. *环境科学学报*, 2022, 42(2):341-350.
- [11] 赵琛. 国 VI 重型车  $\text{NO}_x$  排放特征及评价方法研究[D]. 北京:中国环境科学研究院, 2023.
- [12] 山东省人民代表大会常务委员会办公厅. 山东省人民代表大会常务委员会关于修改《山东省机动车排气污染防治条例》等十四件地方性法规的决定[J]. *山东省人民代表大会常务委员会公报*, 2022(2):353-388.
- [13] 生态环境部. 柴油车污染物排放限值及测量方法(自由加速法及加载减速法):GB 3847—2018[S]. 北京:中国环境科学出版社,2018.
- [14] 王孟昊,黄成,任洪娟,等. 基于遥感尾气监测的柴油车气态污染物排放因子计算方法研究[J]. *环境科学学报*, 2020, 40(11):4156-4161.
- [15] 环境保护部. 在用柴油车污染物测量方法及技术要求(遥感检测法):HJ 845—2017[S]. 北京:中国环境科学出版社,2017.
- [16] 邓明星,欧阳含笑,钱枫,等. 基于改进 LSTM 的重型柴油车远程监测  $\text{NO}_x$  浓度缺失数据填补[J]. *环境科学学报*, 2023,43(11):245-257.
- [17] 刘加昂,张妮,刘树成,等. 重型柴油车排放远程监控系统设计与应用[J]. *内燃机与动力装置*, 2023, 40(3):39-43.
- [18] PRAVEENA V, MARTIN M L J. A review on various after treatment techniques to reduce  $\text{NO}_x$  emissions in a CI engine

[J]. Journal of the Energy Institute, 2018, 91(5):704-720.

## Detection status and detection methods of NO<sub>x</sub> emission for heavy-duty diesel vehicles

LIU Zonghao<sup>1</sup>, LIU Shucheng<sup>1\*</sup>, LIU Jiaang<sup>1</sup>, MIAO Zhuang<sup>2</sup>

1. Shandong Motor Vehicle Exhaust Pollution Monitoring Center, Jinan 250102, China;

2. Qingdao Car-free Transportation Service Center Co., Ltd., Qingdao 266000, China

**Abstract:** Taking heavy-duty diesel vehicles in use in Shandong Province as the research object, this study investigated the application status of regular emission inspection, remote sensing monitoring, and remote monitoring in the regulation of NO<sub>x</sub> emissions from heavy-duty diesel vehicles. The constant speed method and free acceleration method are used to experimentally study the NO<sub>x</sub> emission characteristics of heavy-duty diesel vehicles. The results show that the NO<sub>x</sub> emissions measured by two methods, regular emission inspection and remote sensing detection, do not match the actual NO<sub>x</sub> emissions of heavy-duty diesel vehicles. The NO<sub>x</sub> emissions measured by remote monitoring are consistent with the actual situation. It is also show that the volume fraction of NO<sub>x</sub> measured by the constant speed method and the free acceleration method can truly get the emission characteristics of NO<sub>x</sub> from heavy-duty diesel vehicles, and both can be used for rapid detection of NO<sub>x</sub> emissions from heavy-duty diesel vehicles.

**Keywords:** heavy-duty diesel vehicle; NO<sub>x</sub> emission; detection method

(责任编辑:郎伟锋)

.....  
(上接第 34 页)

piston nozzle. The temperature rise of engine oil is greatly affected by engine oil pressure. Reducing engine oil pressure increases the risk of engine oil deterioration and coking. The temperature rise of the main bearing and connecting rod large end bearing is lower than the design limit. The temperature measurement test results show that the piston temperature is not significantly affected by the oil pressure, and the temperature rise of the main bearing meets the design requirements. The bench test results show that in the commonly used working area, the oil pressure drops from 412 kPa to 240 kPa, and the maximum decrease in fuel consumption rate is about 0.9 g/(kW·h). The application of low pressure lubrication system can improve fuel efficiency while meeting the reliability requirements of diesel engines.

**Keywords:** lubrication system; oil pressure; fuel economy; accessory power consumption; friction work

(责任编辑:郎伟锋)