

## 轻型混合动力汽车实际道路行驶的排放特性研究

孙安邦<sup>1</sup>, 高洁<sup>2</sup>

<sup>1</sup>北京智诚先达交通科技有限公司 北京

<sup>2</sup>中机科(北京)车辆检测工程研究院有限公司 北京

**【摘要】**为减轻环境与资源压力,我国开始提倡新能源汽车。混合动力汽车,尤其是插电式混合动力汽车由于能够更好地平衡成本、续驶里程和能耗的问题,成为了当下新能源汽车的研发热点。针对插电式混动汽车实际道路行驶过程中的气态污染物排放问题,本文采用便携式车载排放测试设备(PEMS, Portable Emission Measurement System)对一辆满足国五法规的插电式混动汽车进行实际道路行驶排放测试,分析了车辆在电量消耗模式与充电模式下的排放差异。结果表明:充电模式下的CO和HC排放较高,分析原因是发动机在给车辆提供动力的同时还要给蓄电池充电,导致发动机处于高负荷工作状态,喷油量增加,空燃比降低,燃料燃烧不充分,导致排放大幅度增加。

**【关键词】**插电式混合动力汽车;车载排放测试;电量消耗模式;充电模式;排放特性

### Research on Emission Characteristics of Light Hybrid Electric Vehicle on Road

Anbang Sun<sup>1</sup>, Jie Gao<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Beijing Zhicheng Xianda Transport Technology Co., Ltd, Beijing, China.

<sup>2</sup>Zhongjike Vehicle Testing Engineering Research Institute Co., Ltd, Beijing, China

**【Abstract】**In order to reduce the pressure of environment and resources, China began to advocate new energy vehicles. Hybrid electric vehicles, especially plug-in hybrid electric vehicles, have become a hot research and development area of new energy vehicles because they can better balance the cost, driving range and energy consumption. In view of gaseous pollutant Emission of plug-in hybrid vehicles during actual road driving, this paper adopts PEMS (Portable Emission Measurement System) to test the actual road driving Emission of a plug-in hybrid vehicle that meets the national five regulations. The emission difference between electric consumption mode and charging mode is analyzed. The results show that CO and HC emissions are higher in charging mode. The analysis reason is that the engine needs to charge the battery at the same time as providing power to the vehicle, which leads to the high load of the engine, the increase of fuel injection, the decrease of air-fuel ratio, and the inadequate fuel combustion, leading to a significant increase in emissions.

**【Keywords】**Plug-in hybrid electric vehicle; Vehicle emission testing; Power consumption mode; Charging mode; Emission characteristics

#### 前言

根据2021年中国移动源环境管理年报(摘录一)<sup>[1]</sup>,在2020年,全国的新能源汽车产量为136.6万辆,销量为136.7万辆。其中,插电式混合动力汽车(以下简称PHEV)的产量为26.0万辆,销量为25.1万辆。2020年插电式混合动力汽车的销量和保有量分别占新能源汽车的18.3%和19%。为了对

机动车的排放进行控制,我国也制定了严格的排放法规标准。

然而有大量研究表明<sup>[2-10]</sup>,现如今所使用的实验室单一的测试循环并不能代表车辆实际道路行驶过程中的运行工况,并且两种工况的排放结果存在较大差异。在2016年,我国发布了轻型汽车中国第六阶段排放标准(GB18352.6-2016)<sup>[11]</sup>。与上一阶段

标准显著不同的是, 国六标准(以下简称国六)将车载排放测试设备 PEMS 运用于车辆尾气排放测试中, PEMS 的测试结果可以真实反映出车辆在实际行驶过程中的排放情况, 逐渐地, 各国也相继把 PEMS 纳入到国家排放标准中<sup>[12-13]</sup>。北京理工大学的杨正军等人对两辆(一辆 PFI、一辆 GDI)满足国六标准的混动车辆进行了排气污染物的研究。研究结果表明, PN 排放大幅度地超出了传统燃油车, 作者认为此现象是混动车辆在频繁起停中的高浓度的空燃比和后处理催化器的低效率所导致<sup>[14]</sup>。

面对插电式混合动力汽车在排放方面面临的挑战, 分析车辆在电量消耗模式与充电模式下的排放特性。本文选取了一辆满足国五法规的插电式混合动力汽车利用车载排放测试设备 PEMS 开展实际道路排放测试, 采集车辆瞬时排放数据, 研究车辆在油电混合模式下的排放差异。

## 1 插电式混合动力汽车简介

### 1.1 PHEV 车辆的技术特点

PHEV 车辆的电池容量比传统的混动车辆的电池容量大。美国能源部的有关研究表明, PHEV 车辆的续航能力达到二十公里的时候就能够减少一半的燃料消耗, 然而电池容量的增大会导致八千美元成本的增加, 续航能力达到四十公里的时候就能够减少 62% 的燃料消耗, 然而电池容量的增大会导致 11000 美元成本的增加<sup>[15]</sup>。针对车辆的发动机, 插电式混合动力车辆比传统混动车辆小。

PHEV 车辆还具备多种的运行模式, 并且按照优先消耗电能的原则运行。

在电池充满电的时候或者电池处于较高荷电水平的状态下, PHEV 车辆通常在纯电动模式下运行, 在此模式下运行时电池的电量会下降的较快; 当电池电量下降至保护状态(允许的电量最低值)时, 车辆就会进入电量维持模式, 在此模式下电池电量波动很小, 总体上处于平衡状态。一部分 PHEV 车辆还会存在纯发动机的运行模式, 即电池电量消耗到最低值时电池停止工作, 由发动机单独驱动使车辆运行<sup>[16]</sup>。

### 1.2 PHEV 车辆的运行模式

PHEV 车辆在实际道路行驶时常见的运行模式有很多, 具体如表 1 所示。

PHEV 车辆的特点是电池的电量消耗快、运行

模式较多, 使得针对它的运行模式的排放特性研究相对困难。

## 2 试验方案确定

### 2.1 选取测试样本车辆

选取了样本车辆—比亚迪宋, 在混合动力模式下开展实际道路排放测试, 此车辆的运行模式是纯电动模式-电量消耗模式-电量维持模式-纯发动机模式。车辆基本信息如表 2 所示。

表 1 PHEV 车辆运行模式

序号	纯电动模式	电量消耗模式	电量维持模式	纯发动机模式
1	√	√	√	√
2	√		√	√
3	√		√	
4		√	√	√
5		√	√	
6		√		√

表 2 车辆信息

项目	技术参数
发动机技术	汽油缸内直喷+涡轮增压
发动机排量	1.5L
发动机额定功率	105kW
进气方式	增压中冷
排放标准	国 V
驱动方式	电机+发动机
后处理方式	三元催化

### 2.2 确定试验的路线

本次测试选取了北京市市区-市郊-高速的路段

开展测试。从测试地点出发——大兴区李堡村——采育镇——王各庄——施园桥——京沈高速——青云店镇——回到起初测试场所。

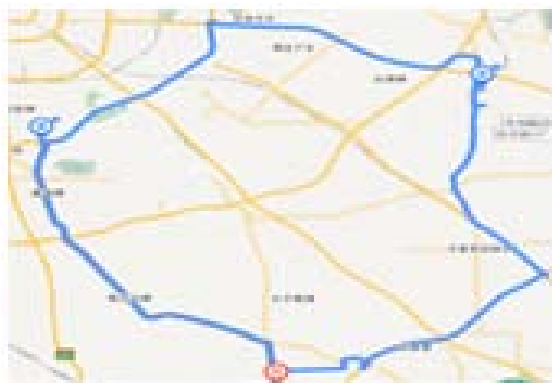


图1 车辆测试线路图

### 2.3 试验用主要仪器设备

本次试验采用的仪器设备是美国 Sensors 公司生产的 SEMTECH-ECOSTAR 车载分析系统来进行排气污染物的测量, 如图 2 所示。



图2 PEMS 测试设备

该设备采用非分散红外分析法 (NDIR) 测量一氧化碳 (CO) 和二氧化碳 (CO<sub>2</sub>), 用氢火焰离子检测器 (FID) 测量碳氢化合物, 非分散紫外分析法 (NDUV) 测量一氧化氮和二氧化氮, 用电化学法测量氧气含量, 利用流量计测量排气流量, 由此得到排气污染物质量排放速率<sup>[17]</sup>。此外, 设备还自带一套全球卫星定位系统 (GPS), 用来记录被测车辆行驶过程中的地理位置 (经度、纬度和海拔) 和行驶速度。

### 2.4 试验流程

开展试验前, 需要将测试车辆充满至 95%, 并将其放置六小时以上。在满电状态时开始启动车辆, 选择车辆运行模式为电量维持模式, 在车辆行驶过程中, 记录车辆从 51% 电量消耗至保护模式 (15%

电量) 的逐秒排放数据和从保护模式 (15% 电量) 回电至 51% 电量的逐秒排放数据。

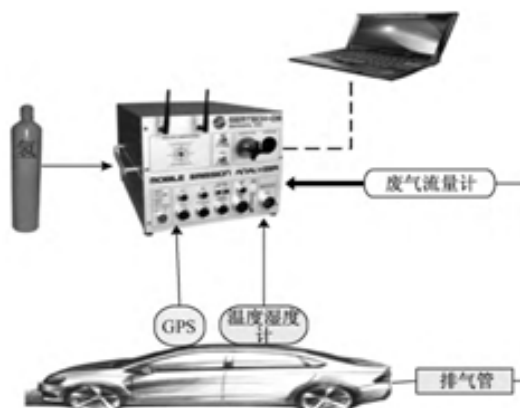


图3 车载排放测试系统

## 3 试验结果计算分析

### 3.1 排放因子计算

排放因子是指车辆行驶单位里程所排放污染物的质量, 单位为 g/km 或 mg/km。计算公式如下所示。

$$EF_p = \frac{\sum_{n=i}^j ER_{p,n}}{\sum_{n=i}^j D_n}$$

式中, EF 表示排放因子, 单位为 g/km 或 mg/km; p 表示排气污染物的种类 (CO、HC、NO<sub>x</sub>); ER 表示排气污染物排放速率, 单位为 g/s 或 mg/s; n 为采样持续时间, 单位为 s; i 和 j 分别为开始采样时间和结束采样时间, 单位为 s, D 表示车辆行驶速度, 单位为 km/s。

### 3.2 试验结果分析

车辆在电量消耗模式和充电模式下的 CO、HC 和 NO<sub>x</sub> 的瞬态排放特性如图 4 所示。从图 4 可以看出, CO 的峰值主要出现在车辆充电过程中, 分析原因是充电过程中, 发动机工作负荷高, 给车辆提供动力的同时还需要给发动机充电, 使得转速和扭矩增高, 喷油量增加, 发动机燃烧不充分, CO 排放增高。

HC 的峰值主要出现在电量消耗模式和充电模式起始位置, 且充电模式的峰值相对于消耗模式较高, 分析原因是车辆在两种模式开始时, 车辆需要迅速提速, 发动机转速提高过快, 出现排放峰值。车辆的排放情况会受到混合动力总成的动力分配策略的影响, 在充电模式启动时, 发动机会跟着启动, 从而导致 HC 的峰值高于电量消耗模式。

NO<sub>x</sub> 峰值主要出现在电量消耗模式中, 且整个过程中峰值相对较多。分析原因是车辆行驶过程中急加减速较多, 使得频繁出现峰值。

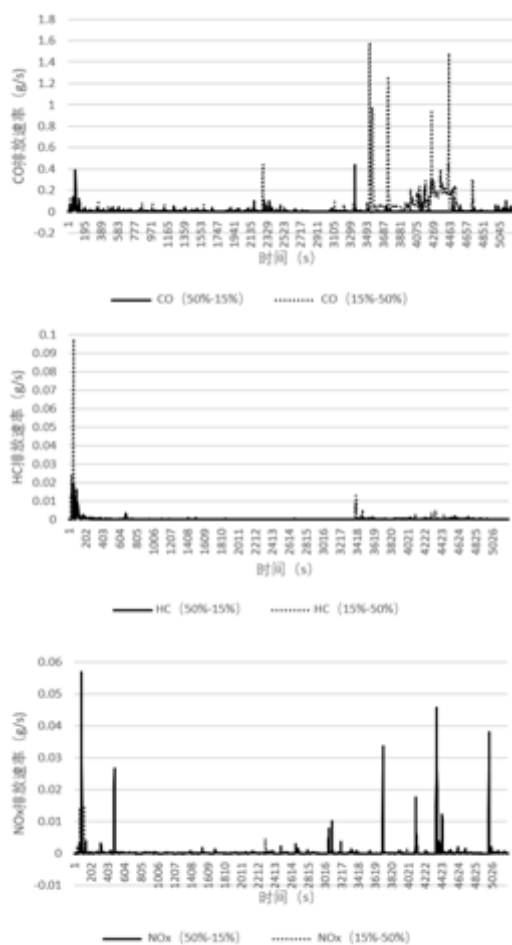


图4 排气污染物瞬态排放特性

当车辆处于电量消耗模式时, CO 排放因子是 0.81g/km, HC 排放因子是 0.02g/km, NO<sub>x</sub> 排放因子是 0.04g/km; 车辆处于充电模式时, CO 排放因子是 1.44g/km, HC 排放因子是 0.09g/km, NO<sub>x</sub> 排放因子是 0.02g/km。

从两种车辆运行模式中的排放因子可以看出, 充电模式下的 CO 与 HC 污染物排放较高, 是电量消耗模式的 1.8 倍和 4.5 倍。分析原因是充电过程中的发动机负荷过高, 燃油不充分, 导致排放大幅增加。

NO<sub>x</sub> 排放整体相差不大, 分析原因是车辆排温适中, 催化剂处在合适催化温度, 使得排放差异较小。

#### 4 结论

利用车载排放测试设备 PEMS 对 PHEV 车辆进行实际道路排放测试, 研究了车辆在电量消耗模式下、充电模式下的气态污染物排放情况。结果表明, 充电模式下的 CO 和 HC 排放较高, 分析原因是发动机在给车辆提供动力的同时还要给蓄电池充电, 导致发动机处于高负荷工作状态, 喷油量增加, 空燃比降低, 燃料燃烧不充分, 导致排放大幅度增加。

针对插电式混合动力汽车在不同运行模式下的发动机技术还需深入细致的研究, 进一步控制机动车的排放, 减轻环境与资源压力。

#### 参考文献

- [1] 2021 年中国移动源环境管理年报(摘录一)[J].环境保护, 2021,49(Z2):82-88.
- [2] YUAN Xueliang, LIU Xin, ZUO Jian. The development of new energy vehicles for a sustainable future: A review [J]. Renew Sustain Energy Rev, 2015, 42: 298-305.
- [3] DU Jiuyu, OUYANG Danhua. Progress of Chinese electric vehicles industrialization in 2015: A review [J]. Appl Energ, 2017, 188 (15): 529-546.
- [4] Weiss M, Bonnel P, Hummel R, et al. On-road emissions of light-duty vehicles in Europe[J] Envir Sci Techn, 2011,45(19): 8575-8581.
- [5] WU Ye, ZHANG Shaojun, HAO, Jiming, et al. On-road vehicle emissions and their control in China: A review and outlook [J]. Sci Total Envir, 2017, 574(1): 332-349.
- [6] 葛蕴珊,王爱娟,王猛,等. PEMS 用于城市车辆实际道路气体排放测试[J].汽车安全与节能学报, 2010,1(2): 141-145.
- [7] 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.
- [8] Roberto A, Goncalo D, Patricia B, et al. Comparison of data analysis methods for European real driving emissions regulation [R]. SAE Tech Paper, 2017-01-0997.
- [9] Timothy J. Vehicular emissions in review [R]. SAE Tech Paper, 2014-01-1491.
- [10] Vlachos T G, Bonnel P, Perujo A, et al. In-use emissions testing with portable emissions measurement sys

- tems (PEMS) in the current and future European vehicle emissions legislation: overview, underlying principles and expected benefits [J], SAE Int J Comme Vehi. 2014, 7(1): 199-215.
- [11] 环境保护部.GB18352.6—2016 轻型汽车污染物排放限值 and 测量方法 (中国第六阶段) [S].2016-12-23.
- [12] JohnsonTV. Reviewof Vehicular Emissions Trends[J].SAE International Journal of Engines, 2015, 8(3).
- [13] 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):5.
- [14] YANG Z J, GE Y S, THOMAS D, et al. Real driving particle number (PN) emissions from China-6 compliant PFI and GDI hybrid electrical vehicles [J]. Atmospheric Environment, 2019,199:70-79.
- [15] Simpson A. Cost -Benefit Analysis of Plug -In Hybrid Electric Vehicle Technology. The 22nd International Battery, Hybrid, and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium and Exposition, October 2006.
- [16] 秦孔建,陈海峰,方茂东,张春龙.插电式混合动力电动汽车排放和能耗评价方法研究[J].汽车技术,2010(07):11-16.
- [17] Qin Kongjian, Chen Haifeng, Fang Maodong, Zhang Chunlong. Research on Emission and Energy Consumption Evaluation Method of Plug-in Hybrid Electric Vehicle [J]. Automobile Technology,2010(07):11-16.
- [18] 王海鲲,傅立新,周昱,等.应用车载测试系统研究轻型机动车在实际道路上的排放特征[J].环境科学, 2008, 29(10): 2970-2974.

**收稿日期:** 2022年6月15日

**出刊日期:** 2022年7月25日

**引用本文:** 孙安邦, 高洁, 轻型混合动力汽车实际道路行驶的排放特性研究[J], 科学发展研究, 2022, 2(2): 132-136

DOI: 10.12208/j.sdr.20220056

**检索信息:** RCCSE 权威核心学术期刊数据库、中国知网 (CNKI Scholar)、万方数据 (WANFANG DATA)、Google Scholar 等数据库收录期刊

**版权声明:** ©2022 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



**OPEN ACCESS**