

# 基于 PEMS 的混合动力客车发动机 启动/停止对排放影响的研究

陈绍刚<sup>1</sup>, 李孟良<sup>2</sup>, 徐 达<sup>1</sup>, 胡友波<sup>1</sup>, 聂颜鑫<sup>1</sup>

(1. 武汉理工大学汽车工程学院, 武汉 430070; 2. 中国汽车技术研究中心, 天津 300162)

**[摘要]** 在中国典型城市公交循环工况下, 采用车载排放测试技术, 以纯柴油模式的怠速排放水平作为比较基准, 对某一大型混合动力客车发动机的启动/停止(S/S)对排放特性的影响进行了研究。试验结果表明: 从排放总量上看, 混合动力汽车的 HC、CO、NO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub> 和 PM 的排放量都比纯柴油模式低; 而混合动力模式 S/S 阶段的 HC、CO 和 NO<sub>x</sub> 的排放量要比纯柴油模式怠速排放量低; 但是 PM 排放量相反, 混合动力发动机在启动和停止时都出现排放峰值; 从控制 PM 排放量来说, 该混合动力客车停机时间应长于 7s。

**关键词:** 混合动力客车; 车载排放测试系统; 启动/停止; 排放

## A Study on the Influence of Start / Stop of Hybrid Electric Bus Engine on Its Emissions Based on PEMS

Chen Shaogang<sup>1</sup>, Li Mengliang<sup>2</sup>, Xu Da<sup>1</sup>, Hu Youbo<sup>1</sup> & Nie Yanxin<sup>1</sup>

1. School of Automobile Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070;

2. China Automotive Technology and Research Center, Tianjin 300162

**[Abstract]** Taking the idling emissions in pure diesel engine mode as comparison base, the effects of start / stop (S/S) of a large hybrid electric bus (HEB) engine on its emissions with typical city-bus driving-cycle in china are studied by using portable emission measurement system (PEMS). The results show that viewing from total emission, the emissions of HC, CO, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> and PM of HEB are all lower than that with pure diesel mode; while in (S/S) stage of HEB engine, the emissions of HC, CO and NO<sub>x</sub> are all lower than that in pure diesel idle mode except PM, in which case its emission of HEB engine in S/S phase has peak value and for controlling PM emission, the time of stop period shall not longer than 7s.

**Keywords:** HEB; PEMS; start/stop; emissions

## 前言

混合动力汽车省油的主要途径之一是减少发动机怠速工况。因此, 根据混合动力系统能量分配策略以及不同的道路交通状况, 发动机会频繁地停机并重新启动。美国韦恩州立大学对一种并联结构的混合动力系统在 FUDS (federal urban driving schedule) 驾驶循环下进行了仿真, 结果表明, 发动机在单个驾驶循环中被启动了 65 次<sup>[1]</sup>。这在某种程度上表明, 发动机频繁启停 (start/stop, S/S) 是混合动力

汽车的一个重要的瞬态工况, 故对发动机 S/S 的排放影响进行研究非常必要。

目前针对混合动力汽车发动机 S/S 的研究主要集中在以下几个方面: (1) 燃油经济性综合优化<sup>[2]</sup>; (2) 车辆驾驶性和舒适性优化<sup>[3]</sup>; (3) 排放特性<sup>[4]</sup>。然而对于混合动力 S/S 过程排放特性的研究仅限于在台架上对发动机快速启动过程的瞬态排放特性进行测试。因此, 本文中采用车载排放测试系统在实际行驶工况条件下, 对混合动力客车 S/S 过程对排放的影响进行研究。

## 1 测试系统与方法

### 1.1 测试系统

测试系统由车辆行驶工况车载测试系统(OBDCTS)和 PEMS 组成,OBDCTS 用来复现跟踪指定的

车辆行驶工况。使用时它被放置在驾驶室,驾驶员根据复现的预设工况操纵车辆,实现车辆多次重复相同工况。PEMS 用来测试车辆在预设工况下的排放情况。图 1 为车辆测试的示意图。OBS-2200 用于分析车辆实际运行环境下的气体排放<sup>[5]</sup>,电子低压冲击仪(ELPI)用于分析车辆在实际运行环境下

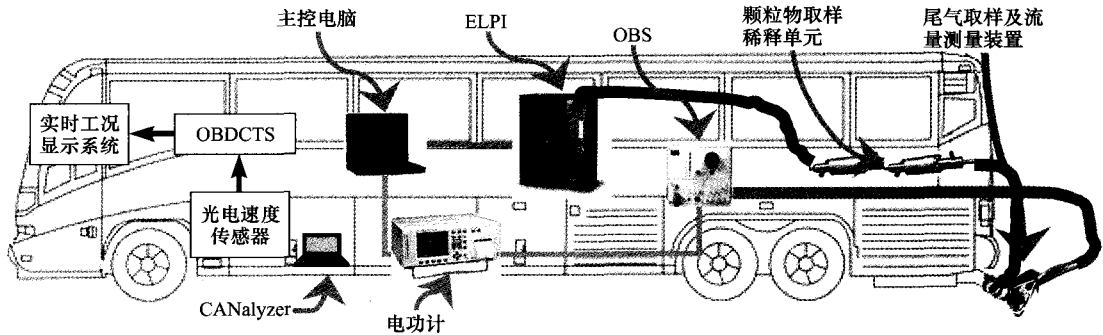


图 1 车辆测试示意图

的颗粒物排放<sup>[6]</sup>。

### 1.2 测试车辆及工况

测试车辆为某公司开发的大型混合动力客车,表 1 为车辆基本参数。

表 1 车辆基本参数

整备质量/kg		10 500
动力系统混合型式		并联
发动机	型式	增压中冷
	排量/L	5.6
	额定功率/kW(转速/ $r \cdot \min^{-1}$ )	162(2 500)
	额定转矩/ $N \cdot m$ (转速/ $r \cdot \min^{-1}$ )	820(1 500)
电动机	额定功率/kW	44
	类型	锂离子电池
蓄电池组	额定电压/V	340
	标称容量/ $A \cdot h$	55

车载配重情况: OBS-2200 为 29kg, ELPI 为 35kg,真空泵为 30kg,空气压缩机为 55kg,发电机为 100kg,其他附件及人员为 421kg,总计 670kg,另外加载载荷到额定载客质量的 65%。测试工况采用中国典型城市公交循环,循环示意图见图 2。

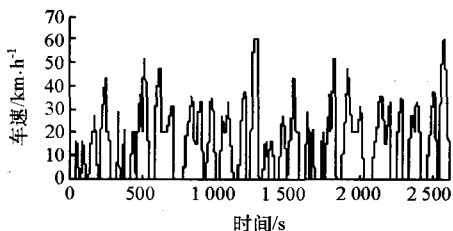


图 2 中国典型城市公交循环

## 2 测试结果和讨论

采样频率为每秒 1 个点,OBDCTS 提供中国典型城市公交循环的车速,光电速度传感器记录实时车速。同时,利用 CAN 总线工具 CANalyzer 测取总线车速、转速和转矩信号。由于采用不同设备测量不同的物理量,必须对各数据量的时间轴进行标定,以保证各物理量的同步性。

### 2.1 测量数据标定及分析

测试按照纯柴油机模式和混合动力模式两种测试方案在中国典型城市公交循环工况下运行,本循环共有 30 个怠速工况,一个怠速工况的累积时间为  $t$ ,按照时间长短分为以下 4 类,见表 2。

表 2 发动机怠速频率

怠速时间	次数
$t \leq 10s$	4
$10s < t \leq 20s$	6
$20s < t \leq 30s$	8
$t \geq 30s$	12

由表 2 可看到, $t > 20s$  时的怠速情况占到 2/3,所以进行实际路况测试时,选择部分怠速时间  $t > 20s$  的工况,手动使混合动力模式行驶的客车发动机停止运转,在车辆即将行驶时,手动使发动机启动。而纯柴油模式测试时关闭电机,行车过程中只依靠发动机驱动车辆行驶。通过标定 CANalyzer 记录的

车速与光电速度传感器记录下的实时车速,使两者在每秒的数值保持一致,进而建立起两种数据记录间的对应关系,保证不同物理量的同步性。两种模式测试分别进行4次,取每种方案4次测试结果的算术平均值用作分析。

图3为中国典型城市公交循环不同模式下车辆的车速和转速图。从图3中可以看到,混合动力S/S 9次,而整个循环中混合动力S/S 17次。S/S阶段的排放数据根据转速而定,图4中椭圆区域即是发动机S/S阶段的转速。

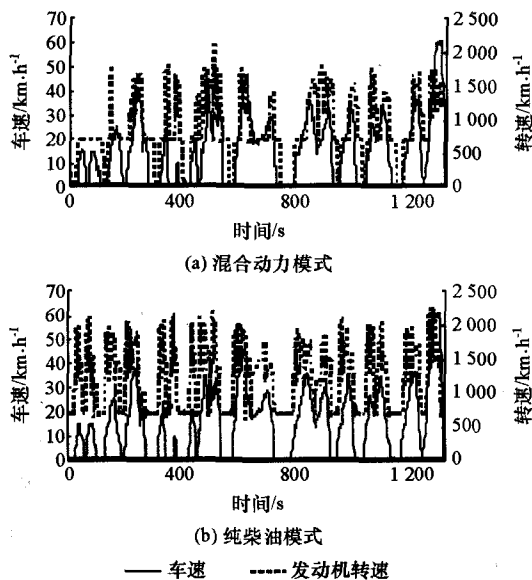


图3 不同模式车辆的车速和转速

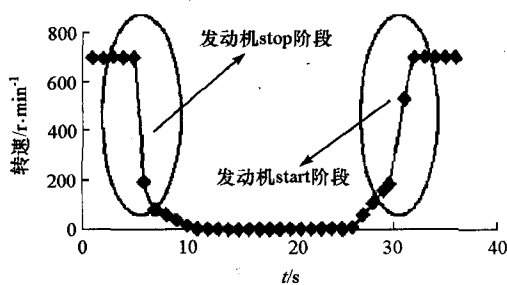


图4 发动机S/S阶段的转速

## 2.2 混合动力汽车S/S阶段累积排放特性

找出混合动力S/S 17次与相应纯柴油模式怠速阶段的排放量,得到的测试结果见表3。

通过对比排放数据发现:混合动力客车的HC、CO、NO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub>和PM的排放量都比纯柴油模式的排放量低,其排放分别减少30.68%、2.2%、16.63%、22.48%和24.77%。其原因为:(1)采用混合动力技术后,车辆整体油耗下降,因此,相同行驶里程下污染物排放减少;(2)混合动力客车的发动机作针对性调整,同时整车控制策略将发动机控制在高效低排放区域。

从混合动力S/S阶段和相应的纯柴油模式怠速阶段排放数据上看,HC、CO和NO<sub>x</sub>在混合动力模式下排放量比纯柴油模式下分别降低了12.5%、15.04%和43.17%。混合动力模式S/S阶段的CO<sub>2</sub>的排放量要比纯柴油模式下降16.88%,说明混合动力取代传统汽车的怠速这一阶段,降低了CO<sub>2</sub>的排放量,即起到了节油的作用。相反这一阶段PM的排放量,混合动力模式要高出80.4%。

## 2.3 停机对下一次启动排放的影响

图5为根据怠速时间的不同截取的部分S/S阶段的尾气排放图。图中椭圆区域为发动机重新启动阶段的排放量。

### 2.3.1 停机对下次启动瞬态排放影响

从图5中可以看出,发动机在S/S阶段,时间段在20~60s变化时,发动机启动时的排放量和排放的变化率没有变化。为了进一步研究混合动力客车S/S阶段的排放特性,截取中国典型城市公交循环工况中的一个循环进行研究,并且保证所截取的循环存在S/S过程。图6给出了所截取的混合动力模式S/S阶段的瞬时排放图。

从图6中可以看到:混合动力客车发动机的CO、NO<sub>x</sub>和PM的排放量在停机后的启动过程中都会出现排放峰值,这与美国阿贡国家实验室的研究结论<sup>[7]</sup>一致,再次启动后的PM峰值尤为明显。对于混合动力系统,能够实现在电机拖动下过渡到发动机怠速工况,提高发动机起始喷油转速,减小传统发动机启动过浓喷油以及怠速油量。但是当发动机

表3 尾气排放测试结果

混合动力模式和纯柴油模式的排放对比		HC/g	CO/g	NO <sub>x</sub> /g	CO <sub>2</sub> /g	PM/mg
总排放	混合动力	2.13	100.82	155.33	12 450.97	8 187.03
	纯柴油	3.08	103.08	186.32	16 062.04	10 882.92
混合动力S/S阶段和纯柴油模式怠速排放	混合动力	0.021	0.514	1.423	85.79	36.46
	纯柴油	0.024	0.605	2.504	103.21	20.21

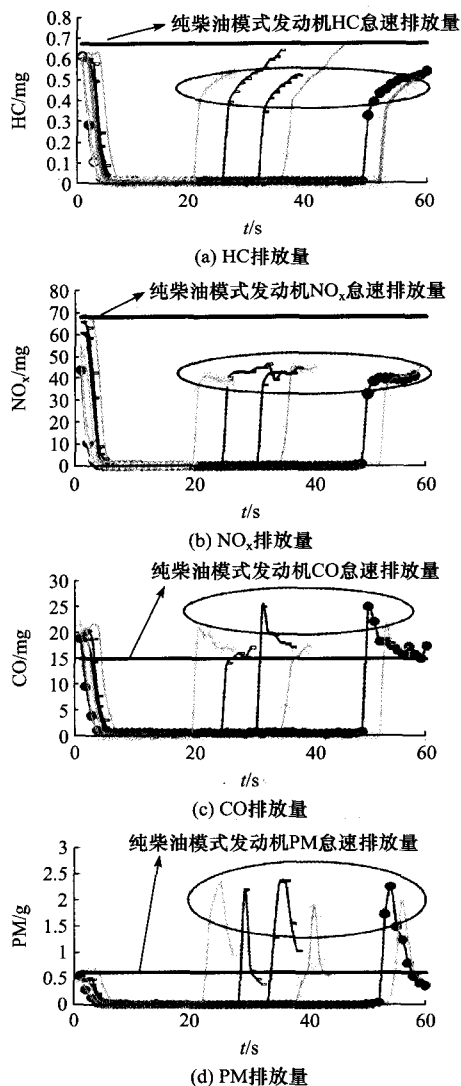


图5 S/S阶段不同排放物的排放量

停机时会有一部分油膜残留,另外还有一部分废气残留在发动机内,当发动机重新启动时对排放产生影响。当排气门关闭后,HC、CO、 $\text{NO}_x$ 和PM浓度先降低,后又升高,这是由于气流惯性产生的压力波动在排气道内形成回流所造成的。

### 2.3.2 发动机重新启动后污染物排放量与纯柴油模式怠速排放量的对比

由图5可以看出,混合动力模式下发动机重新启动后的HC和 $\text{NO}_x$ 排放量要低于纯柴油模式正常怠速的排放量。而CO的排放量在发动机重新启动后的怠速状态下要高于纯柴油模式下发动机怠速的排放量。PM的排放量在发动机重新启动高峰过后和纯柴油模式下发动机怠速的排放量基本相等。造成这些现象的原因很多:与传统车类似,在启动阶段,由于过浓喷油及发动机转速的提高,使得CO和

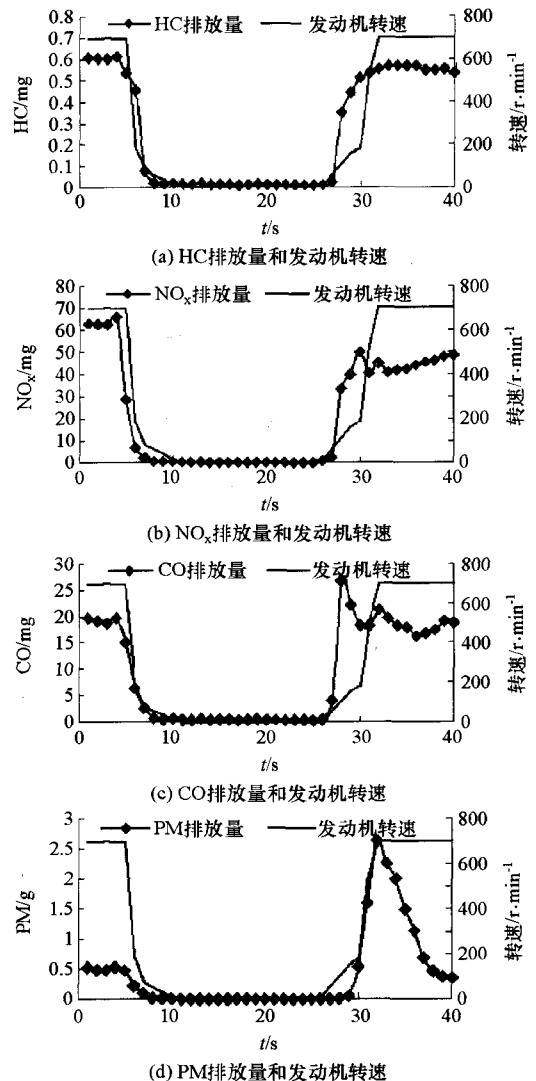


图6 S/S阶段瞬时排放

PM排放恶化,但是 $\text{NO}_x$ 的排放量,在发动机再次启动后的怠速过程中比停机前怠速过程中明显要少,这是因为 $\text{NO}_x$ 的排放量取决于发动机的温度,发动机停机的这段过程发动机温度降低,发动机温度越低,产生的 $\text{NO}_x$ 越少。

通过图7可以看出,CO和PM重新启动后排气的特殊性,说明了CO和PM的排放量在S/S阶段随停机时间的变化,以及与纯柴油模式怠速阶段排放水平的关系。

从图7中还可看出,混合动力S/S阶段没有发动机怠速阶段,CO的排放量在启动排放量出现峰值之后怠速排放量要比纯柴油模式怠速排放高,经计算,混合动力模式下发动机启动后50s,CO的排放量就会等于纯柴油模式持续怠速70s的排放量,即混合动力启动50s之后CO的排放量高于纯柴油模

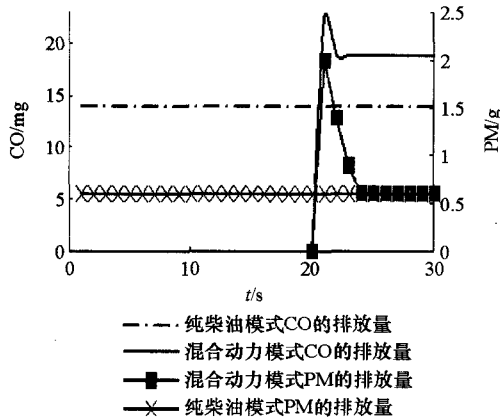


图7 CO和PM的排放量

式CO的排放量。而PM的排放量在重新启动出现峰值之后,混合动力模式的排放量与纯柴油模式怠速排放量相等,经计算,若停机时间少于7s,混合动力模式PM的排放量就会高于纯柴油模式PM的排放量,所以从控制PM排放水平来说,本混合动力客车停机时间应长于7s。

### 3 结论

针对某大型客车在混合动力模式和纯柴油模式下,通过对整车累积排放水平的研究,论证了混合动力客车在整个循环工况过程和S/S阶段的HC、CO、NO<sub>x</sub>和CO<sub>2</sub>整体排放要比纯柴油低。因此,采用S/S的大型混合动力客车可以达到节能减排的目的。

通过研究其瞬态排放特性发现,混合动力汽车

发动机排放物在启动过程中会出现排放峰值。再次启动后的NO<sub>x</sub>的排放量要比停机前怠速过程中排放量明显减少。

通过研究某混合动力客车停机对下一次启动排放的影响,发现从控制PM排放水平来说,本混合动力客车停机时间应长于7s。

研究结果同时证明,同一辆混合动力汽车采用不同模式运行,车辆排放有很大的不同,也就是说,仅仅从台架试验来考核混合动力的排放水平是不全面的,必须采用实际路况整车的排放评价方法。

### 参考文献

- [1] Henein Naeim A, Dinu Taraza, Nabil Chalhoub, et al. Exploration of the Contribution of the Start/Stop Transients in HEV Operation and Emissions[C]. SAE Paper 2000-01-3086.
- [2] Morinaka Matsuura, Koji Korematsu, Junya Tanaka. Fuel Consumption Improvement of Vehicles by Idling Stop[C]. SAE Paper 2004-01-1896.
- [3] Katsuhiko Hirose, Tatehito Ueda, Toshifumi Takaoka, et al. The High-Expansion-Ration Gasoline Engine for the Hybrid Passenger Car[C]. JSAE Review, 1999(20):13-21.
- [4] 杨钊,王庆年,刘明辉,等.混合动力客车的排放污染物测量及分析[J].吉林大学学报(工学版),2007(2).
- [5] 李孟良,等.基于PEMS的混合动力客车排放和油耗性能评价[J].江苏大学学报(自然科学版),2006(1).
- [6] 刘双喜,李孟良,等.ELPI在重型车车载PM测试中的应用研究[J].汽车工程,2007,29(7).
- [7] Hery K, Anderson Ng, Duoda Micheal J, et al. Engine Start Characteristics of Two Hybrid Electric Vehicles(HEVS)-Honda Insight and Toyota Prius[C]. SAE Paper 2001-01-2492.

(上接第216页)

对原型车的改装设计,燃料电池汽车在碰撞试验中可以表现出良好的安全性。

(2) 与传统汽车相比,燃料电池汽车的质量有所增加,动力系统部件都是较大的质量块。因此,必须进行合理的总布置和轻量化设计,开发轻量车身及体积小、功率大的动力模块,提高部件的集成化程度。

(3) 在模拟分析基础上提出的修改建议,在实车试验过程中得到很好的验证。这表明,通过CAE分析可以为工程技术人员提供合理的设计思路,提高燃料电池整车开发设计效率,缩短开发时间。

(4) 基于燃料电池汽车的特性,有必要制定相关的新能源汽车的碰撞安全标准,为今后新能源汽车批量生产和上市提供安全性能评价体系。

### 参考文献

- [1] 潘璠,朱西产,王大志.燃料电池轿车碰撞安全性仿真研究[J].汽车工程,2008,30(1).
- [2] 邹诚君,王宏雁.基于虚拟碰撞试验分析燃料电池轿车车身结构的安全性[J].安全与环境学报,2006,6(1).
- [3] 张维刚,钟志华,赵幼平,等.计算机仿真技术在汽车正碰安全性能改进中的应用研究[J].机械工程学报,2002,38(3).
- [4] 何建,万党水.燃料电池轿车氢瓶保护系统设计分析研究[J].上海汽车,2008(7).