

新能源汽车和内燃机汽车噪声特性比较分析

夏云飞, 程子敬, 史府鑫, 王 燕

北京卫星信息工程研究所, 北京
Email: 15235767174@139.com

收稿日期: 2020年6月29日; 录用日期: 2020年7月15日; 发布日期: 2020年7月22日

摘 要

本文以新能源汽车在中国的发展现状和世界各国因为新能源汽车行驶时的低噪声引发的行人安全问题而相继制定电动汽车行车标准为背景, 首先, 介绍了各类汽车的概念包括传统的内燃机汽车以及三类新能源汽车。之后, 分析了这四类汽车行驶时的噪声并说明了噪声产生的原因。最后, 从速度引起汽车噪声特性变化的角度对比了不同类型汽车的噪声差异。

关键词

内燃机汽车, 电动汽车, 混合动力汽车, 燃料电池电动汽车, 噪声特性

Comparative Analysis of Noise Characteristics of New Energy Vehicles and Internal Combustion Engine Vehicles

Yunfei Xia, Zijing Cheng, Fuxin Shi, Yan Wang

Beijing Institute of Satellite Information Engineering, Beijing
Email: 15235767174@139.com

Received: Jun. 29th, 2020; accepted: Jul. 15th, 2020; published: Jul. 22nd, 2020

Abstract

This article takes the background of the development status of new energy vehicles in China and the successive development and implementation of electric vehicle driving standards in the world due to pedestrian safety issues caused by new energy vehicles driving at low speeds. Firstly, it introduces the concepts of various types of vehicles including traditional internal combustion engine vehicles and three types of new energy vehicles. After that, the noises of these four types of

vehicles during driving are analyzed and the reasons for the noises are explained. Finally, the noise differences of different types of vehicles are compared from the perspective of changes of the noise of vehicles caused by speed changes.

Keywords

Internal Combustion Engine Vehicles, Electric Vehicles, Hybrid Electric Vehicles, Fuel Cell Electric Vehicles, Noise Characteristics

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

根据中国汽车工业协会统计的数据, 2019 年, 新能源汽车产销分别完成 124.2 万辆和 120.6 万辆, 其中纯电动汽车产销分别完成 102 万辆和 97.2 万辆; 插电式混合动力汽车产销分别完成 22.0 万辆和 23.2 万辆; 燃料电池汽车产销分别完成 2833 辆和 2737 辆。据公安部统计, 2019 年全国新能源汽车保有量达 381 万辆, 纯电动汽车保有量 310 万辆。2020 年 5 月, 《政府工作报告》也提出, 加强新型基础设施建设, 发展新一代信息网络, 拓展 5G 应用, 建设数据中心, 增加充电桩、换电站等设施, 推广新能源汽车, 激发新消费需求、助力产业升级。以上数据结合国家政策对于新能源汽车产业的大力支持可以看出, 新能源汽车未来在我国成长空间广阔。

新能源汽车全部或部分由电动机驱动, 在城市道路上几乎是随处可见, 尽管给我们生活带来了巨大便利, 然而新能源汽车在道路上行驶时由于产生的噪声比较低, 给行人和骑自行车的人安全也带来了一定的危险性, EVs (electric vehicles) 和 HEVs (hybrid electric vehicles) 在低速行驶时尤为明显。据美国国家公路交通安全管理局一项对 8387 辆 HEVs 和 559703 ICEVs (internal combustion engine vehicles) 的统计研究显示[1], HEVs 和 ICEVs 与行人和自行车碰撞通常发生在道路上、低速区、白天和晴朗天气; 与 ICEVs 相比, HEVs 的碰撞发生率更高; 对于车辆减速或停车、倒车、进入或离开停车位的场景, HEVs 发生与行人碰撞的可能性是 ICEVs 的两倍。这就意味着有必要对 EVs 或 HEVs 加装提示音装置, 以提醒行人注意安全。

美国、中国、日本、欧盟等国家和地区制定了相关标准来保障行人安全。早在 2010 年, 美国就制定了《行人安全促进法案》[2], 该法案要求在 EVs 和 HEVs 中使用可听见的车辆报警系统, 在时速 30 km/h 以下行驶时需要发出噪音, 提醒行人。由于汽车厂家的不配合, 导致该法案一再推迟实施。中国发布了国家强制性标准 GB7258-2017《机动车运行安全技术条件》, 新增各项要求于 2018 年 1 月 1 日起对新生车辆正式开始实施。该强制性标准明确规定: “纯电动汽车、插电式混合动力汽车在车辆起步且车速低于 20 km/h 时, 应能给车外人员发出适当的提示性声响。日本政府要求自 2018 年 3 月以后生产的电动汽车、插电混合动力汽车都必须加装车辆接近通报装置, 以确保行人安全。欧洲议会第 540/2014 号法规规定[3], 从 2019 年 7 月开始, 所有新注册的混合动力和纯电动汽车都必须在 2021 年之前安装 AVAS (Acoustic Vehicles Alerting Systems)。该系统将会在车速低于 20 km/h 时启动并发出声音, 向周围行人和道路使用者提示电动汽车或混合动力汽车的存在, 防止行人被电动汽车或混合动力汽车撞到。

从新能源汽车的蓬勃发展和各国竞相出台法律法规要求新能源汽车安装车辆声学警报系统来看, 对新能源汽车的噪声特性的研究还是很有必要的, 该课题也是近年来环境声学研究领域的重要课题之一,

吸引了大量学者的关注。

2. 各类汽车的概念

传统内燃机汽车(ICEVs)指的是以内燃机燃烧柴油或汽油作为动力的车辆。

按照 SAEJ1715 中定义的术语, 电动汽车(EVs)是指不论以何种方式获得电能, 推进力完全由电动机完成的汽车。

混合动力汽车(HEVs)是指在车上储存有两种或两种以上不同形式能量, 并由不同形式能量驱动的车辆。HEVs 有一个汽油或柴油发动机以及一个大电池和一个电动机, HEVs 可以由电动机和发动机共同驱动, 发动机通常是两个推进源中较大的一个, 可在车辆高功率行驶期间提供大部分动力。电动机通常是两个推进源中较小的一个, 可使制动过程中捕获的能量最大化, 并用于低速状态下汽车运行[4]。插电式混合动力汽车是最常见的 HEVs, 它使用电池为电动机提供动力, 并使用其他燃料(如汽油或柴油)为内燃机提供动力。

燃料电池电动汽车(FCEVs fuel cell electric vehicles)是指使用氢气为驱动能源, 通过氢和空气发电, 产生电能进而利用电能行驶的汽车[5]。燃料电池电动汽车的燃料电池动力系统由燃料电池堆, 锂电池, 冷却系统以及氢气和氧气供应系统组成。燃料电池电动汽车使用类似于电动汽车的推进系统, 不同之处在于它由氢气驱动, 以氢存储的能量通过燃料电池转化为电能。此外, 它没有有害尾气排放, 仅排放水蒸气和热气流。如图 1 所示。

表 1 显示了传统内燃机汽车与 3 类新能源汽车即电动汽车、混合动力汽车和燃料电池电动汽车的主要特性比较[5]。

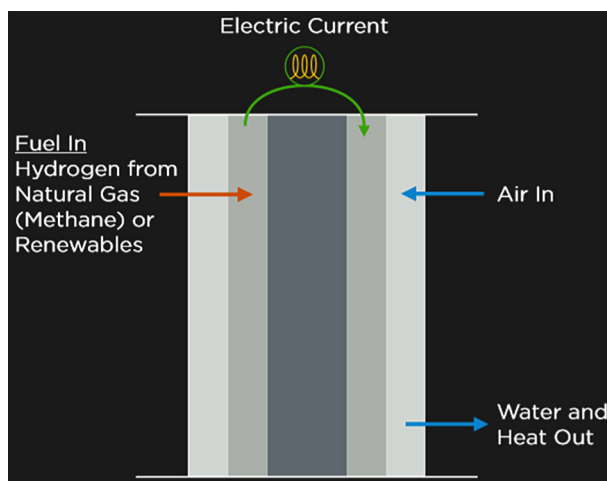


Figure 1. The working principle of FCEVs

图 1. FCEVs 工作原理

3. 汽车噪声概述

汽车噪声是由与汽车上某些部件或系统引起的振动或摩擦而产生的声音。汽车噪声是多种声源的组合, 如内燃机及其辅助装置、传动系统、排气系统等, 其频谱中含有各种时变和非时变的音调和宽带成分。汽车有几种不同的噪声源: 轮胎与道路的相互作用、发动机、变速器、进气、排气、空气动力噪声、车身和车轮振动。由此得出汽车的噪声主要有动力系统振动噪声和路面与轮胎摩擦噪声。文献[6]也指出汽车噪声有两个主要的独立来源, 即发动机和其他机械来源以及轮胎滚动噪声。那么, 汽车行驶时产生的主要噪声由动力总成噪声和轮胎滚动噪声组成。理论上, 在低速时, 动力总成的噪声占主导地位, 而

Table 1. Comparison of main characteristics of ICEVs, EVs, HEVs and FCEVs (partly cited from literature [5])
表 1. 内燃机汽车、电动汽车、混合动力汽车和燃料电池电动汽车主要特性的比较(部分引自文献[5])

	内燃机汽车 ICEV	电动汽车 EV	混合动力汽车 HEV	燃料电池汽车 FCEV
驱动系统	内燃机	电动机驱动	电动机启动 内燃机	电动机驱动
能源储存系统	化石燃料	电池 超级电容	电池 超级电容 化石燃料或替代燃料	氢罐 需要提高功率密度的电池/超级电容
能源&基础设施	汽油/柴油 加油站	电能 电网充电设施	汽油/柴油; 加油站 电能; 电网充电设施 (插电混合动力汽车)	氢气 制氢和运输氢的基础设施
特点	排放污染物 高燃油消耗 长驾驶距离 消耗化石燃料 成本较低 市面上有销售	零排放 高能源效率 不消耗化石燃料 行驶距离短 初始成本高 市面上有销售	低排放 低燃油消耗 长驾驶距离 消耗化石燃料 相比燃油车有更高成本 再生制动系统 市面上有销售	零排放 高能源效率 不消耗化石燃料 (如果不使用汽油产生氢气) 高成本 研制中, 市面销售较少
主要问题	化石燃料面临枯竭 污染环境	电池尺寸和管理 成本高 充电设施 电池寿命	动力不足 电池尺寸和管理 多能源系统的控制、优化和管理	燃料电池成本、寿命、可靠性 氢气制造和分销设施 成本高

在高速时, 轮胎滚动噪声起决定性作用[4]。

下面将分别描述内燃机汽车、电动汽车、混合动力汽车、燃料电池电动汽车四类汽车的主要噪声源。

3.1. 内燃机汽车噪声

内燃机汽车的特性噪声来源发动机和动力系统的噪声。发动机和动力系统的噪声可分为气流噪声、机械噪声和燃烧噪声。如下图 2 所示, 发动机噪声产生的来源。

气流噪声通常是低频控制的, 与进气和排气过程有关, 包括涡轮增压器单元和冷却风扇。气流噪声包括进气噪声、排气噪声和风扇噪声。

机械噪声由旋转和往复式发动机部件产生, 它来源于齿轮、挺杆、气门机构、正时传动、燃油喷射设备和轴承, 也来源于引起活塞拍击的气体力。机械噪声主要包括活塞敲击噪声、气门爆震噪声、齿轮啮合噪声和喷油泵噪声。

燃烧噪声, 其产生的机理是由于气缸压力的升高导致气缸压力频谱的不连续性和高频区的电平增加, 这反过来又会导致发动机机体的振动, 并最终导致燃烧噪声辐射。燃烧力和惯性力都会引起发动机结构的振动, 从而产生噪声排放。由于柴油机中的气体力高于其惯性力, 燃烧噪声比其他机械产生的噪声排放更为明显, 其噪声辐射表现为几百到几千赫兹的频率范围。汽油机运行过程中也会遇到气流噪声、机械噪声和燃烧噪声, 但汽油机的燃烧噪声比柴油机的燃烧噪声小很多。例如: 文献[8]比较了柴油、汽油和电动车以低速(10 km/h)驶来时的噪声水平。图 3 显示了柴油、汽油和电动汽车以 10 km/h 行驶时的噪声水平 dB(A), 汽油车与电动汽车的噪声级差为 11.3 dB(A), 而柴油车的噪声级差为 15.2 dB(A)。这与我们上文分析得出的柴油机的噪声辐射比汽油机的噪声辐射强很多的论断相一致。

3.2. 电动汽车噪声

电动汽车噪声主要来源于汽车动力系统和非动力系统噪声。动力系统包括车辆和车速、开启电动机时产生的进气和排气噪声, 以及驱动电动机时产生的噪声、车身振动和噪声。非动力系统主要是汽车喇叭、刹车噪音。电动汽车的特征噪声主要包括电动机工作时的电磁噪声和电池燃料发出的噪声。

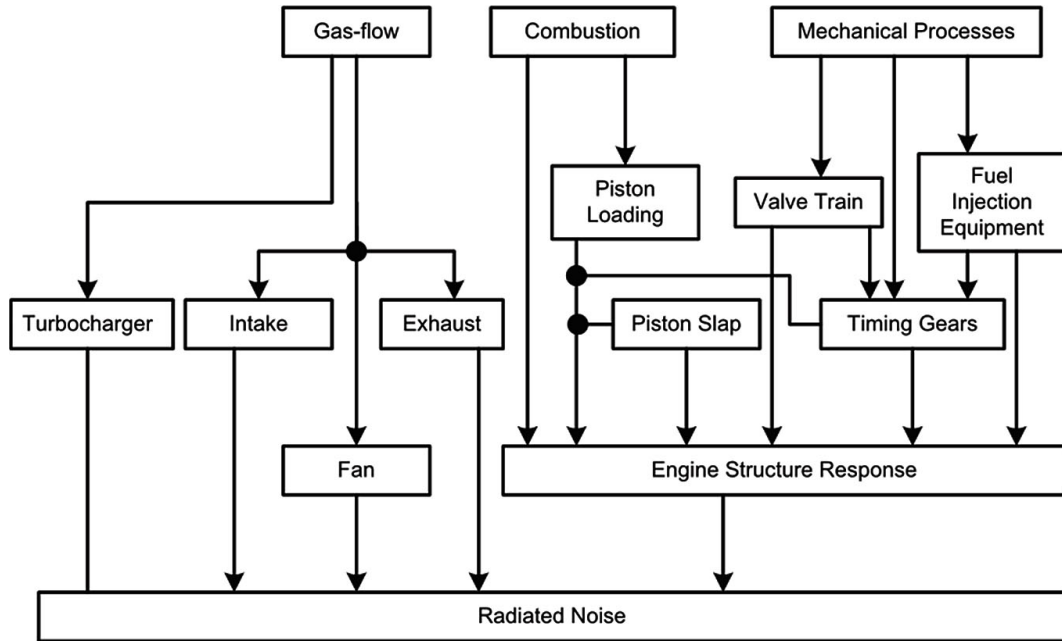


Figure 2. Sources of engine noise (quoted from literature [7])

图 2. 发动机噪声产生的来源(引自文献[7])

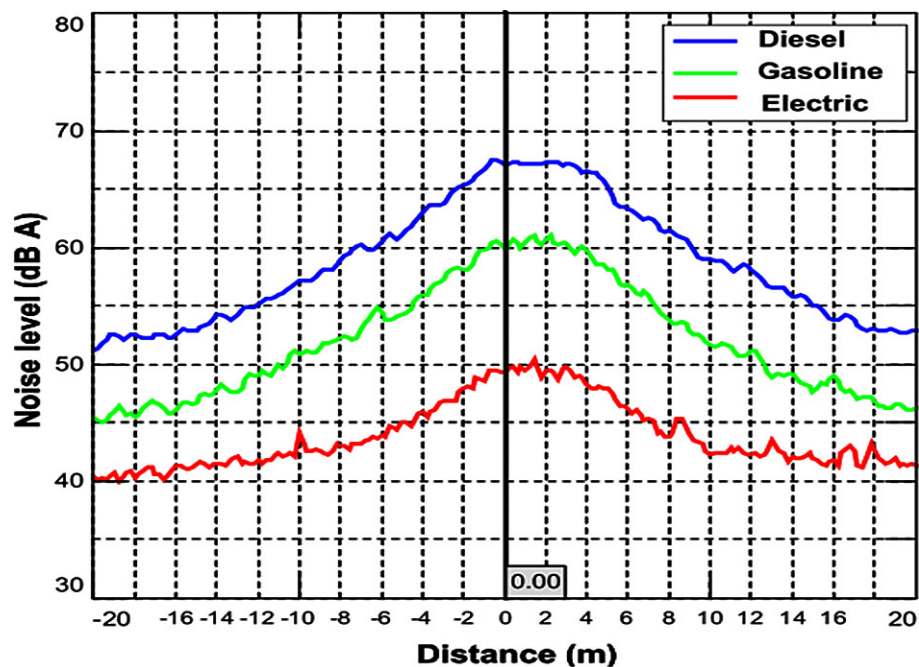


Figure 3. Comparison of noise measurement levels when the vehicle approaches at a low speed (10 km/h) on the ISO test site (cited from [8])

图 3. 在 ISO 试验场上车辆以低速度(10 km/h)接近时噪声测量水平比较(引自文献[8])

永磁同步电动机是市面上电动汽车常用的电动机,在该系统中,由电池提供的直流电压通过脉宽调制(PWM pulse width modulation)在逆变器上转换为幅度和频率受控的交流电压。PWM 的转换频率是恒定的,并且在许多电动汽车中都处在 5~20 kHz 的范围内,这个转换频率噪声以及电机传动系统的电磁噪声共同构成了电动汽车的电磁噪声,其噪声特征是由占主导地位的电磁谐波产生的与速度相关的高频音调

分量构成,其范围很广;电动汽车噪声的另一个特征来源是电池燃料发出的声音。

3.3. 混合动力汽车噪声

混合动力汽车的噪声分为三类:无掩蔽效应而产生的噪声(即电动水泵和真空泵的泵噪声、通风机、和滚动噪声以及环境噪声);非预期的声学行为;特定的声学现象。在车辆内部,当内燃机关闭时,就没有遮蔽物,来自所有其他噪声源(泵、压缩机、风扇等)的噪声突然变得非常明显[4]。

混合动力系统与传统动力系统相比,增加了电动机、电子控制单元和高压蓄电池等部件,这些部件之间会产生不同的新相互作用,从而产生新的噪声。

由于混合新成分及其新相互作用而产生的特定噪声:负荷变化时内燃机启动/停止时动力总成的低频振动噪声;动力总成的修正惯性矩和固有频率噪声;电磁噪声:电驱动和再生制动时发动机/发电机的磁噪声;蓄电池冷却系统的空气动力噪声;电源控制单元的开关噪声。

3.4. 燃料电池汽车噪声

燃料电池动力系统的主要噪声源是燃料电池堆的冷却泵,供氧的氢气供应泵和风扇。

氢泵会产生 79 Hz、118 Hz 和 314 Hz 频率的噪声,它们会导致后面板和后底板振动,并向燃料电池汽车内部辐射噪音;在 80~120 km/h 的车速范围内,牵引电机的振动引发的噪声成为 FCEVs 车内主要的噪声源;结构传播的噪声主要通过固体结构传递,但是在传播过程中,它会将噪声辐射到空气中[9]。

4. 噪声对比分析

4.1. 轮胎噪声简介

轮胎噪声因其是各类汽车行驶时的共有外部噪声,而且在汽车排放总噪声所占比例较大,此外,随着车速变化,轮胎噪声所占比例也会发生相应变化,故单独对其介绍。

轮胎噪声是指轮胎在路面上滚动时产生的噪声,其主要来源有轮胎振动和空气泵送一般来讲,在 30~100 km/h 的速度范围轮胎噪声是汽车行驶时最显著的噪声源。

轮胎振动是由道路和轮胎之间的相互作用引起的。由于胎面花纹和路面的粗糙度,道路和轮胎之间的接触几何结构是不同的,因此,接触力随时间和轮胎振动而变化,轮胎的时变振动会产生声辐射。有研究表明,轮胎振动可以在很宽的频率范围内对辐射声音起作用,频率可能高于 1 kHz。

空气泵送是指在轮胎滚动过程中,在轮胎前缘和后缘产生单极子源的时变气流。

4.2. 车速对于汽车噪声特性的影响分析

随着车速的增加,轮胎噪声的增加大于推进噪声的增加。文献[10]通过使用 Nord2000 模型计算推进噪声、轮胎噪声和汽车的总噪声和速度的关系,如图 4 所示。预测模型表明,低速时以推进噪声为主,高速时以轮胎噪声为主。

文献[12]指出混合动力汽车和内燃机汽车之间的噪声排放差异随着速度的降低而增加,如图 5 所示,以混合动力汽车的噪声降低水平为例,这里涉及轮胎噪声和发动机噪声的总噪声排放。车速在 20 km/h 时,降低超过 3 dB,车速在 50 km/h 时降低到 1 dB,车速大于 50 km/h 时,噪声降低数值迅速降至零,因为此时轮胎的噪声开始占据主导地位,此时混合动力和非混合动力车辆之间的噪声排放差异几乎消失。

文献[12]比较混合动力汽车和电动汽车相对于内燃机汽车的总噪声排放(发动机和轮胎道路噪声)降低效果。如图 6 所示,在车速小于 50 km/h 时,电动汽车与混合动力汽车相比,降噪水平会稍微高一些,因为纯电动车用电动机代替了内燃机,没有内燃机产生的噪音。随着车速的增加,纯电动汽车和混合动

力汽车的轮胎与道路的摩擦噪声很快就占主导地位，当行驶速度达到 50 km/h 以上时，纯电动车和混合动力汽车与内燃机汽车三者产生噪声的水平相当，轮胎噪声成为主要噪声。另外，在车速低于 30 km/h 的情况下电动汽车和混合动力汽车比内燃机汽车更安静，因为在低速行驶时，混合动力汽车是启动电动模式，与电动汽车类似；当速度达到 30 km/h 以上时，混合动力汽车的降噪效果相比与内燃机汽车迅速减少，因为此时车辆从电动模式已经切换到内燃机模式。

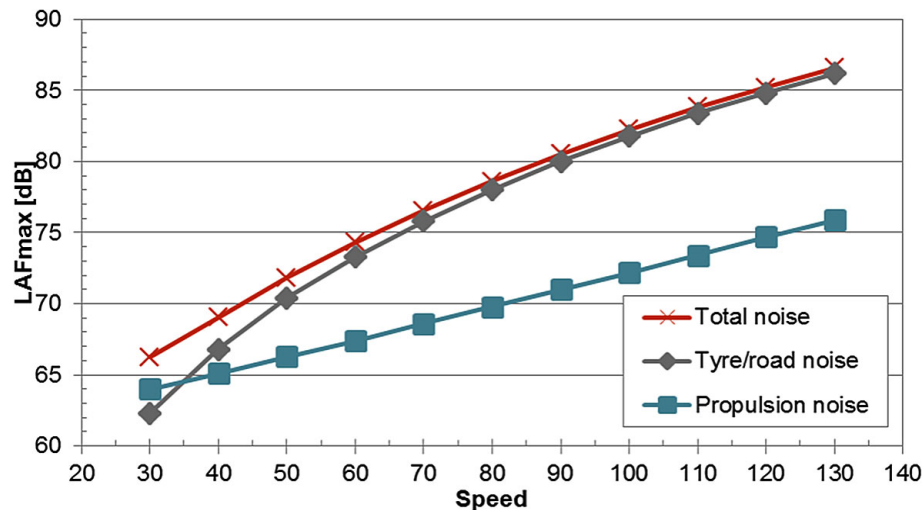


Figure 4. The relationship between the speed and the propulsion noise, tyre noise and the total noise of the car is calculated based on the Nord2000 noise prediction model (quoted from [10])

图 4. 基于 Nord2000 噪声预测模型计算的速度与推进噪声、轮胎噪声和汽车的总噪声的关系(引自文献[10])

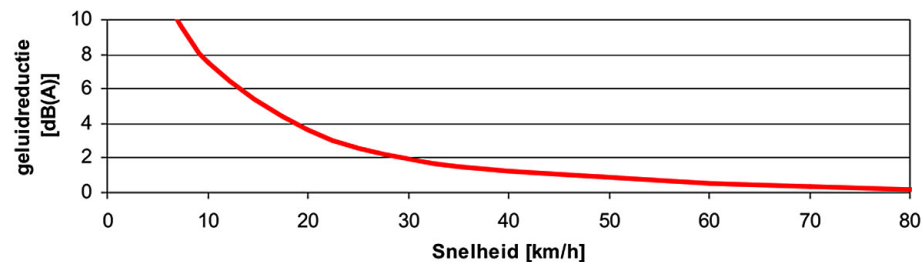


Figure 5. Differences in noise emissions from HEVs and ICEVs (cited from [11])

图 5. 混合动力汽车和内燃机汽车的噪声排放差异(引自文献[11])

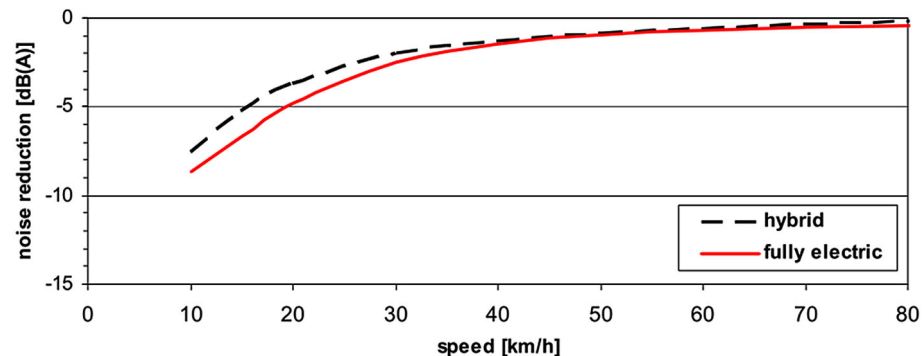


Figure 6. Noise reduction effect of HEVs and EVs compared with ICEVs (quoted from literature [12])

图 6. 混合动力汽车和电动汽车与内燃机汽车相比的降噪效果(引自文献[12])

文献[13]已经证明, 只有在车速低于 20 km/h 时, 内燃机汽车和混合动力汽车(电动模式)的噪声排放才有显著差异。如图 7 所示, 混合动力汽车电动模式下的速度越慢, 与燃油车的噪声级差越大; 静止时, 最大噪声级差约为 20 dB; 速度在 20 km/h 或以上时, 噪声级差较小。

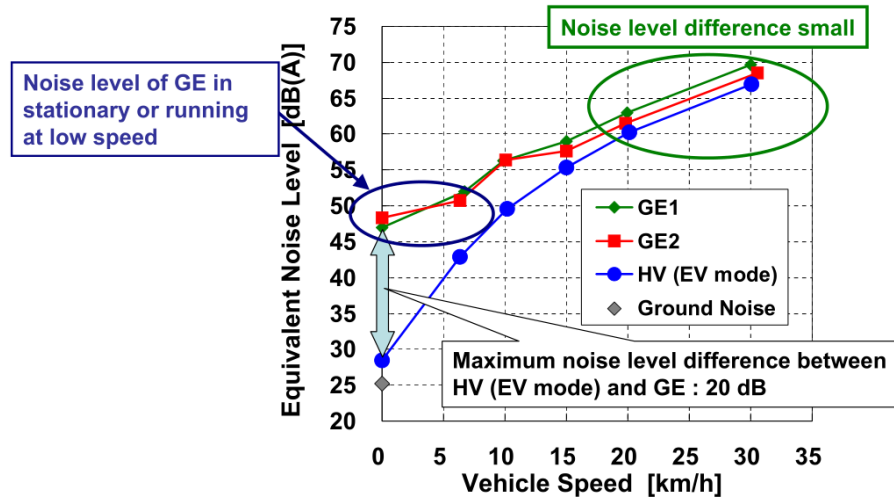


Figure 7. Comparison of the equivalent noise level of a HEV (EV mode) and 2 ICEVs at the same low speed (cited from [13])

图 7. 混合动力汽车电动模式下与两辆燃油车在低速行驶时的的等效噪声水平对比图(引自文献[13])

文献[14]证明, 当车速大于 30 km/h 时, 轮胎滚动噪声对燃油车的总噪声的贡献开始占据主导地位, 如图 8 所示。

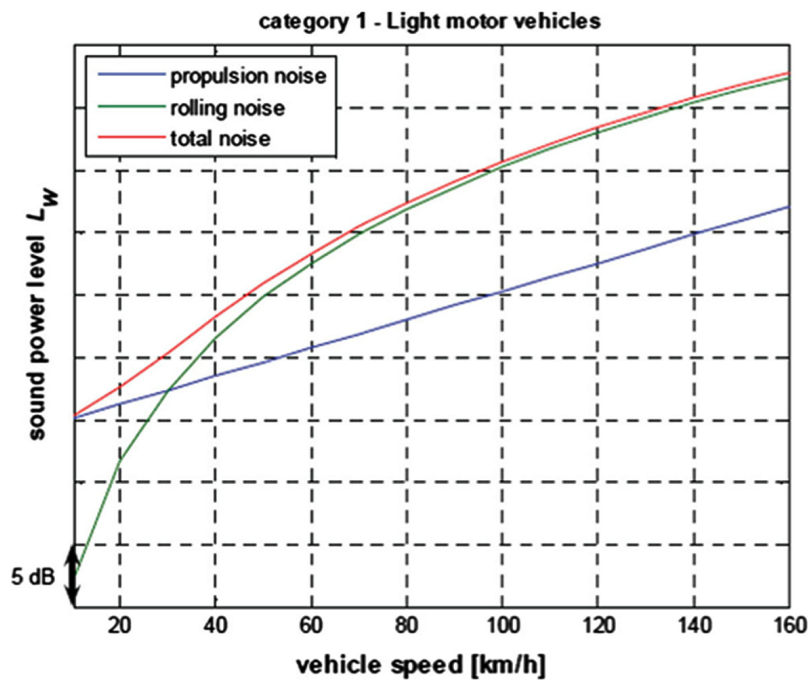


Figure 8. The contribution of different sub-sound sources to the total noise of the car (quoted from literature [4])

图 8. 不同子声源对汽车总噪声的贡献(引自文献[4])

文献[15]在相同条件下比较了电动汽车和内燃机汽车内部噪声和外部噪声的噪声特性,结果发现在恒速时二者车内噪声水平、车外噪声水平都非常相似。

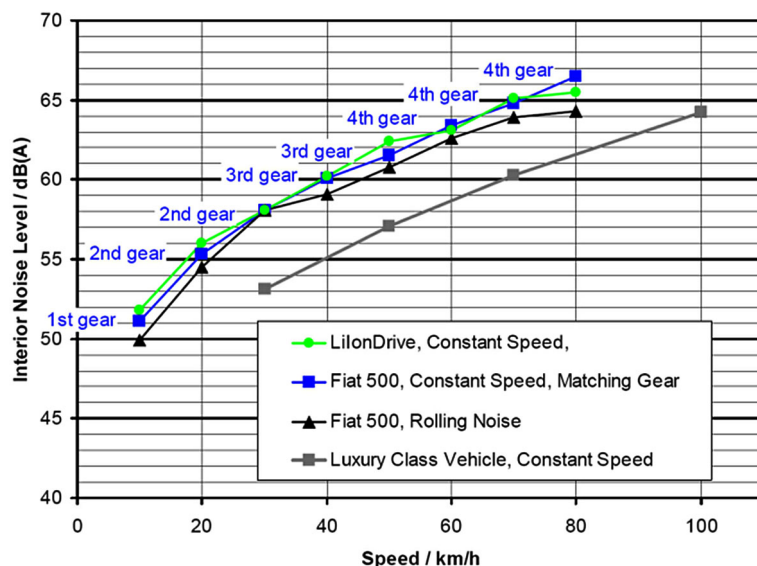


Figure 9. In-vehicle noise level at constant speed (quoted from [15])

图 9. 恒定车速下的车内噪声水平(引自文献[15])

图 9 显示了电动汽车(Liiondrive)和内燃机汽车(Fiat 500)在不同恒定速度下的内部噪音水平,此外,还将其与同一车辆的轮胎滚动噪声进行了比较,结果发现电动汽车和内燃机汽车在恒速时二者车内噪声水平非常相似,仅比滚动噪音高 1 或 2 dB(A)。

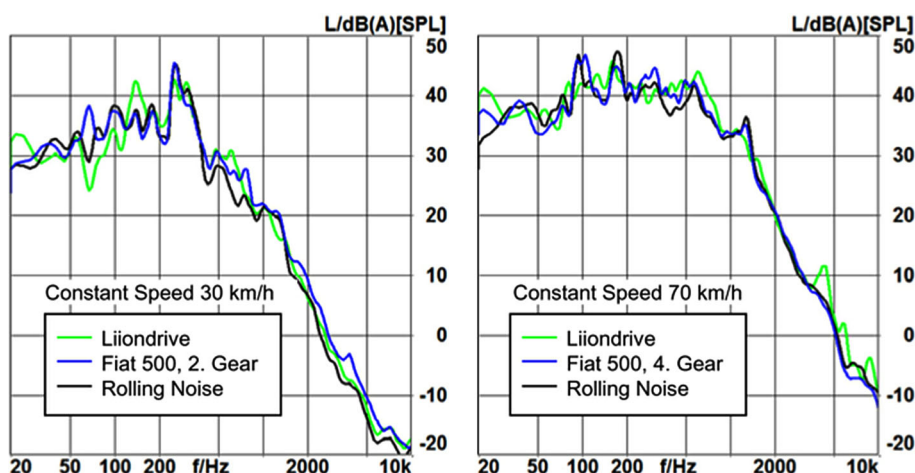


Figure 10. Interior noise spectrum at constant speeds of 30km/h and 70km/h (cited from [15])

图 10. 30km/h 和 70km/h 恒定车速下的车内噪声谱(引自文献[15])

在图 10 中,显示了电动汽车(Liiondrive)和内燃机汽车(Fiat 500)的噪声谱与内燃机汽车(Fiat 500)在车速为 30 km/h 和 70 km/h 下的轮胎滚动噪声的比较图。在 30 km/h 的车速下,这三个谱都非常相似。在 70 Hz 左右,内燃机汽车(Fiat 500)的频谱显示出一个小的峰值,这是由于它的第二级发动机,在高频水平略高,因而产生的机械噪音。在 70 km/h 的车速下,除了电动汽车(Liiondrive)的一些高频共振峰外,这三个谱也很相似。如图 10 中右图所示,这些高频共振峰是电动马达极阶激励产生的,这些高频噪声分量非常明显。

图 11 显示了 Liiondrive 在通过噪声位置时的车外噪声水平与内燃机汽车在不同速度下的车外噪声的比较。

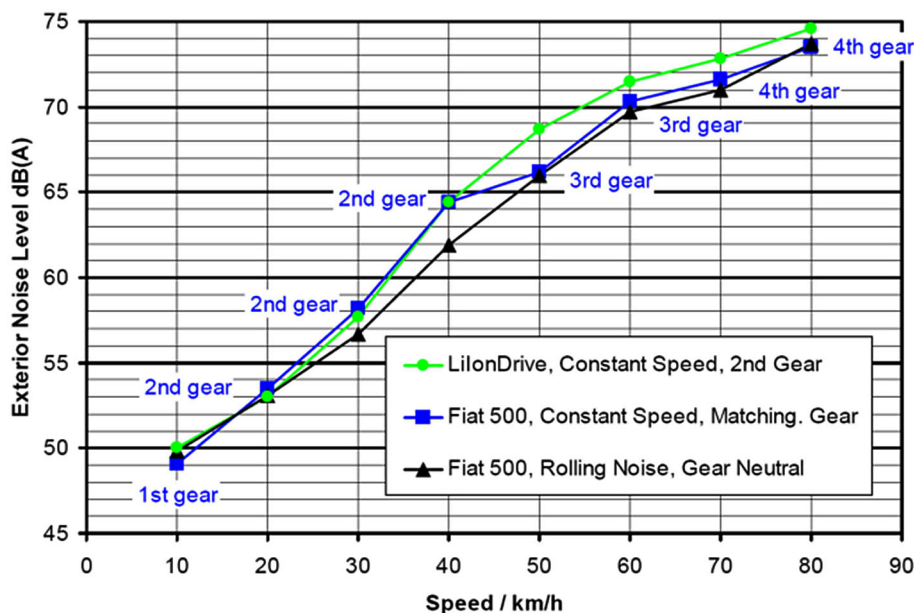


Figure 11. External noise level when HEV and ICEV pass through the noise position at a constant speed (quoted from [15])

图 11. HEV 和 ICEV 恒速通过噪声位置的外部噪声水平(引自文献[15])

在恒定速度下, 电动汽车(Liiondrive)和内燃机汽车(Fiat 500)的外部噪声水平相似并且接近车辆的轮胎滚动噪声。但是, 在低速行驶时, 由于降低了高频范围噪声以及缺少周期性内燃机声音, 电动汽车的外部噪声在主观上不那么明显。

5. 总结

本文通过对比分析内燃机汽车和三类新能源汽车的主要噪声特性得出以下结论:

电动汽车、混合动力汽车、燃料电池汽车行驶时三者都存在电动机工作时产生的电磁噪声, 而内燃机汽车行驶时仅有发动机噪声, 混合动力汽车则是电磁噪声和发动机噪声都存在。

车速是影响各类汽车噪声的一个重要因素, 不同速度下车辆的噪声特性不同。低速行驶时, 三类新能源汽车的噪声明显低于内燃机汽车, 电动汽车和燃料电池电动汽车噪声稍微低于混合动力汽车噪声, 此时发动机或电动机产生的噪声居于主导地位; 中高速行驶时, 四类汽车噪声特性相差无几, 此时轮胎滚动噪声发挥主要作用, 速度越高越明显。因此, 重量和形状相似、轮胎类型相同的电动汽车、燃料电池电动汽车、混合动力汽车和内燃机汽车在高速行驶时会发出相同的噪声即轮胎噪声。

参考文献

- [1] National Highway Traffic Safety Administration (2009) Incidence of Pedestrian and Bicyclist Crashes by Hybrid Electric Passenger Vehicles. DOT HS 811 204.
- [2] National Highway Traffic Safety Administration (2011) Minimum Sound Requirements for Hybrid and Electric Vehicles-Draft Environmental Assessment.
- [3] (2014) Regulation E C. No 540/2014 of the European Parliament and of the Council of 16 April 2014 on the Sound Level of Motor Vehicles and of Replacement Silencing Systems, and Amending Directive 2007/46/EC and Repealing Directive 70/157/EEC. *Official Journal of the European Communities*, **173**, 65-78.

-
- [4] Parizet, E., Janssens, K., Poveda-Martínez, P., *et al.* (2016) NVH Analysis Techniques for Design and Optimization of Hybrid and Electric Vehicles.
- [5] Chan, C.C., Bouscayrol, A. and Chen, K. (2010) Electric, Hybrid, and Fuel-Cell Vehicles: Architectures and Modeling. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, **59**, 589-598. <https://doi.org/10.1109/TVT.2009.2033605>
- [6] Besnard, F., Hamet, J.F., Lelong, J., *et al.* (2009) Road Noise Prediction 1—Calculating Sound Emissions from Road Traffic. SETRA, Bagneux.
- [7] Lilly, I.R.C. (1984) Diesel Engine Reference Book.
- [8] Dubois, F., Baudet, G. and Chamard, J.C. (2012) EVADER: Electric Vehicle Alert for Detection and Emergency Response.
- [9] Zuo, S. and Yan, J. (2006) Experimental Analysis for the Interior Noise Characteristics of the Fuel Cell Car. 2006 *IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety*, 3-15 December 2006, 241-245. <https://doi.org/10.1109/ICVES.2006.371591>
- [10] Kragh, J., Jonasson, H., Plovsing, B., *et al.* (2006) User's Guide Nord2000 Road. Delta, SINTEF, SP and VTT.
- [11] Verheijen, E., Schreurs, E. and Jabben, J. (2009) Invloed hybride voertuigen op de geluidbelasting. RIVM briefrapport 680300006.
- [12] Verheijen, E. and Jabben, J. (2010) Effect of Electric Cars on Traffic Noise and Safety.
- [13] JASIC (2009) A Study on Approach Warning Systems for Hybrid Vehicle in Motor Mode. *The 49th GRB Session*, Geneva, 16-18 February 2009, GRB-49-10:9.
- [14] Van Blokland, G. and Peeters, B. (2009) Modeling the Noise Emission of Road Vehicles and Results of Recent Experiments. *Internoise 2009*, Ottawa, 23-26 August 2009, 5-6.
- [15] Govindswamy, K. and Eisele, G. (2011) Sound Character of Electric Vehicles. SAE Technical Paper. <https://doi.org/10.4271/2011-01-1728>