

# 燃料电池轿车驱动电机电磁噪声的实验研究\*

张 戟, 蔡浩雄, 王洪武

(同济大学新能源汽车工程中心, 上海 201804)

**[摘要]** 为研究燃料电池轿车驱动电机的电磁噪声,在调查了燃料电池轿车驱动电机的类型、功率和转矩等参数的基础上,选择感应电机为对象,测得了电机不同输入电压和转速下的电磁噪声频谱图,并进行对比分析。结果表明,在选定频率范围内,输入电压和转速对电机电磁噪声的均值和峰值均有影响,为采取降低燃料电池轿车驱动电机电磁噪声的措施提供了依据。

**关键词:** 驱动电机; 输入电压; 转速; 电磁噪声

## An Experimental Study on the Electromagnetic Noise of Drive Motors in Fuel Cell Cars

Zhang Ji, Cai Haoxiong & Wang Hongwu

Clean Energy Automotive Engineering Center, Tongji University, Shanghai 201804

**[Abstract]** For studying the electromagnetic noise of drive motors in fuel cell cars, induction motors are chosen as object based on a survey of the type, power, torque etc parameters of drive motors in fuel cell cars, and the frequency spectrograms of electromagnetic noise of drive motors are obtained by tests and comparatively analyzed. The results show that both input voltage and rotation speed have certain influence on the mean and the peak electromagnetic noise of motor, providing a basis for taking measures to reduce the electromagnetic noise of drive motors in fuel cell cars.

**Keywords:** drive motors; input voltage; rotation speed; electromagnetic noise

### 前言

与传统内燃机汽车相比,燃料电池轿车具有效率高、污染小和噪声低等优点,被认为是21世纪汽车工业的希望<sup>[1]</sup>。然而,燃料电池轿车的动力系统(包括动力电池、DC/DC转换器和驱动电机等)常见的工况为大电流高电压,对低压设备产生很大的电磁干扰,降低了系统的安全性和可靠性。

大功率电机整流逆变器核心部分是由绝缘栅双极型晶体管(IGBT)构成的开关电路,工作时产生高频信号,具备较高的电应力,多产生较高的直流母线纹波,开关噪声与谐波噪声高,波形系数差;从电磁兼容的角度看,无论是辐射发射还是传导发射都比较强。本文中从传导发射的角度,首先介绍了常用

燃料电池轿车用驱动电机的选型,然后通过实验获得电机在不同电压和转速的频谱图,并利用控制变量法对结果进行了分析,为采取降低燃料电池轿车驱动电机电磁噪声的措施提供了依据。

### 1 驱动电机的选型

电机驱动系统是燃料电池汽车中将电能转换成机械能的动力部件,目前常用的驱动形式有直流电机、交流感应电机、交流永磁电机和开关磁阻电机等驱动系统<sup>[2]</sup>。

直流电机驱动系统具有成本低、易于平滑调速、控制简单和技术成熟等特点,在早期的无轨电车和电动叉车等车辆中广泛使用。但由于电机在运行过程中需要电刷和换向器转向,对其高速性能和可靠

\* 国家863项目(2011AA11A265)资助。

原稿收到日期为2012年1月4日,修改稿收到日期为2012年3月11日。

性影响较大。随着交流调速理论和电力电子器件的发展,它在燃料电池汽车上的应用已逐步减少。

交流感应电机采用鼠笼式或绕线式转子结构,与直流电机相比具有坚固耐用、结构简单、技术成熟、免维护和成本低等优点,尤其适合恶劣的工作环境,比较适合燃料电池电动汽车,特别是大功率的电动汽车。

交流永磁电机通常可分为方波供电的无刷直流电机和正弦波供电的永磁同步电机。转子采用永磁体,不需要励磁。因此,功率因数大,电机的功率密度和效率就会提高。在中小功率系统中比较占优势,但成本较高,可靠性也比感应电机差。

开关磁阻电机结构最为简单,适合高速运行,调速控制比较容易,但电磁噪声和转矩脉动仍然是开关磁阻电机面临的两大难题。目前燃料电池汽车上这种电机应用较少。

表1为各大汽车公司燃料电池轿车驱动电机的类型和参数,额定功率为50~80kW,最大功率在100kW附近。本文中选用额定功率为45kW,最大功率为90kW的感应电机为研究对象。

表1 燃料电池轿车驱动电机类型和参数

公司	车型	电机类型	额定功率/kW	最大功率/kW	最大转矩/(N·m)
通用	Sequel	感应电机	60	--	--
通用	Zafira	感应电机	60	--	215
戴姆勒-克拉斯勒	A	--	55	--	--
福特	Focus	感应电机	67	--	190
现代	i-Blue	--	--	100	--
奔驰	B级 F-Cell	--	--	100	290
丰田	克罗茄	永磁同步	80	--	260
本田	FCX Clarity	永磁同步	80	100	--
马自达	Premacy	永磁同步	65	--	--
大众	Bora	--	75	--	240

注:--表示未查到相关数据。

## 2 电机三相输入端电磁噪声分析

负载是影响电机噪声的重要因素,但目前国内没有根据燃料电池汽车实际工况给驱动电机模拟加载的装置,故仅考虑电机空载时的噪声。

### 2.1 实验布置

实验布置如图1所示。共模电流钳一端包住主回路三相输入线,测量三相输入端共模电流,另一端连接频谱分析仪,频谱仪与电脑连接记录存储实验数据。人工网络端接50Ω电阻。

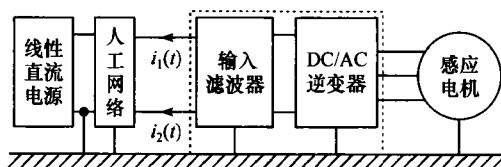


图1 实验布置图

### 2.2 输入电压与电磁噪声的关系

大功率电机产生电磁噪声最根本的原因是IGBT工作过程中产生很高的电流变化率和电压变化率,二者产生的浪涌电流和尖峰电压形成了干扰源。电压变化率产生的共模电流通过设备与地之间寄生电容回到地平面,共模电流幅值计算公式为

$$I_{cm} = C_p \frac{du}{dt} \quad (1)$$

式中: $C_p$ 为寄生电容, $u$ 为电机输入电压。

图2为电机驱动系统示意图。图中虚线箭头表示共模电流的传播路径<sup>[3]</sup>。由图可知,驱动系统、传输线和感应电机内部均有共模电流。

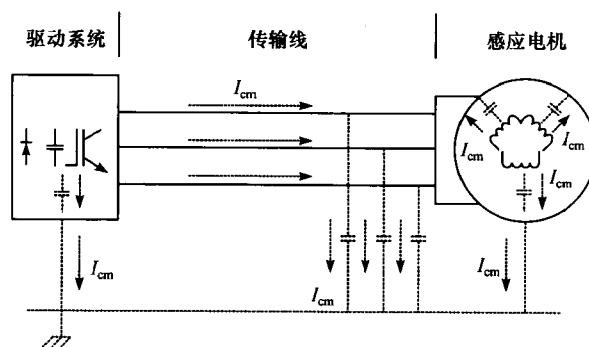


图2 感应电机驱动系统中的共模电流

图3分别为不同输入电压下的共模噪声频谱图。图中横坐标表示频率,起点为9kHz,纵坐标表示转速固定在1000r/min时共模电流流经端接50Ω电阻所产生的电磁噪声。由图可见,曲线的变化趋势基本相同,开始9kHz时噪声功率很高,为-15dBm,随着频率的逐步增加,噪声功率逐渐减小,到27MHz时,电磁噪声基本稳定在-70dBm;从9kHz到9MHz噪声降低非常快,随后噪声随频率增加小幅度波动,并最终趋于稳定。

根据测量数据,把频率范围0~30MHz平分为20等分,选取对应的噪声功率最大值,利用三次样

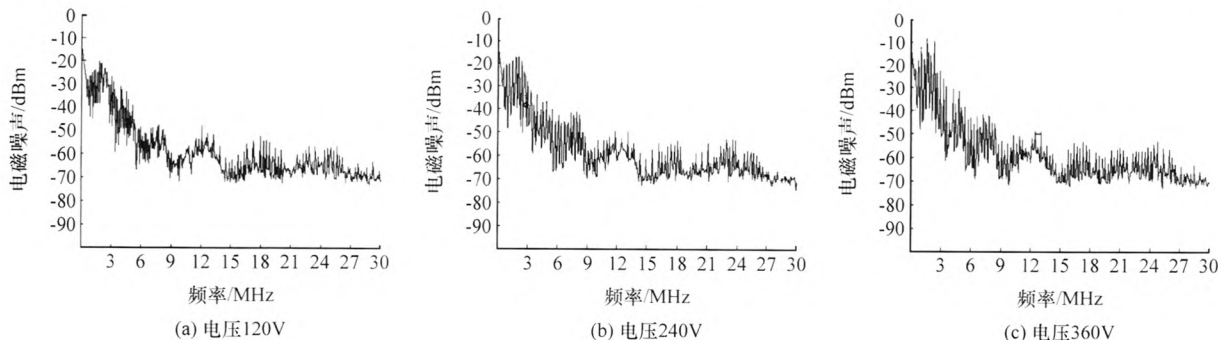


图3 转速1000r/min时共模噪声频谱图

条曲线拟合转速1000r/min不同电压时电磁噪声,得到图4所示曲线。表2为电机驱动系统三相主回路电磁噪声的峰值和均值。从图4和表2可以看出,随着电机驱动系统三相主回路输入电压升高,噪声有所增加,但增量有限,分别为-2.4dBm和-2.9dBm。另外值得注意的是,120和240V时噪声功率的峰值均为-15dBm,而360V时,噪声功率的峰值为-11dBm。

表2 转速1000r/min不同电压时噪声峰值和均值

电压/V	峰值/dBm	峰值对应的频率/kHz	均值/dBm
120	-15	9	-52.9
240	-15	9	-50.5
360	-11	1.6	-47.6

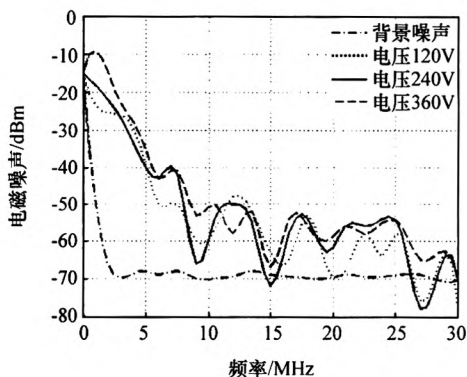


图4 转速1000r/min不同电压时的噪声-频率曲线

### 2.3 电机转速与电磁噪声的关系

图5是输入电压为330V,转速分别为0、6000和8000r/min时的共模噪声频谱。由图可见,随着频率的提高,共模噪声呈降低趋势,低频共模噪声变化不大,但不同转速下的降幅有很大差别。

驱动电机转速为0时,不同频段的电磁噪声差别较大。频率段为9kHz~12MHz时的共模噪声很大,其噪声均值为-33.1dBm;而频率段为12~30MHz时的噪声均值只有-61dBm,噪声大大减小,但在频率为17和25.5MHz时出现相对较大的噪声,分别为-32和-40dBm。结果说明驱动电机低速时的电磁噪声主要来自低频段。

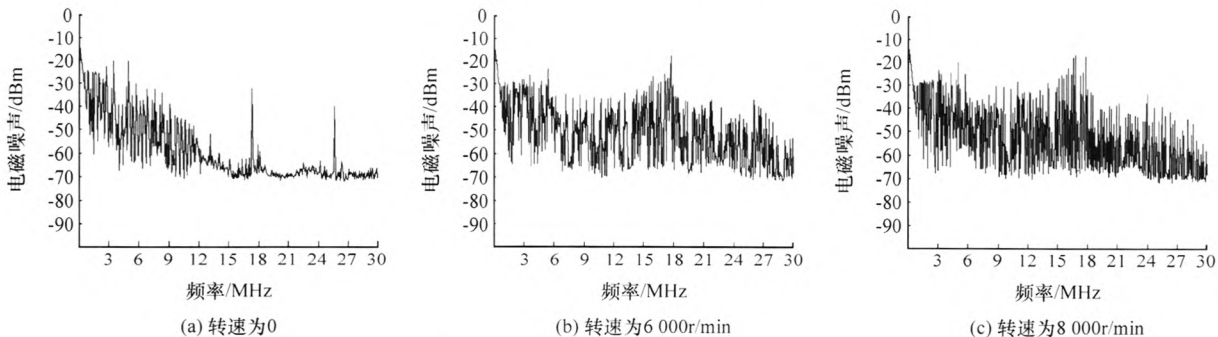


图5 电压330V时共模噪声频谱图

驱动电机转速为6000和8000r/min时,随着频率的增加,共模噪声有所降低,但降幅不大。频率段0~6MHz和15~18MHz的共模噪声很大,这与转

速为0时17MHz出现相对峰值的情况是一致的。30MHz时,共模噪声依然很大,还未趋于稳定,因此当驱动电机处于高转速时,须扩大频率范围。

不同转速下的噪声-频率曲线如图6所示。表3为不同转速下电机驱动系统三相主回路共模电磁噪声的峰值和均值。电机是否运转对低频电磁噪声影响不大,但对高频电磁噪声影响很大。驱动电机转速为0时,噪声均值为-47.9dBm,而转速为6000和8000r/min时,噪声均值分别为-35.7和-32.8dBm。

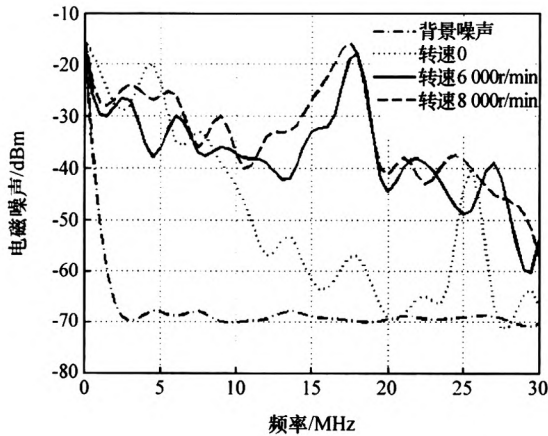


图6 电压330V不同转速下的电磁噪声-频率曲线

表3 电压330V不同转速时噪声峰值和均值

转速/(r/min)	峰值/dBm	峰值对应的频率/kHz	均值/dBm
0	-15	9	-47.9
6000	-15	9	-35.7
8000	-15	9	-32.8

### 3 结论

驱动电机作为燃料电池轿车动力系统关键零部

件之一,产生了很大的电磁噪声。在对燃料电池轿车驱动电机的类型和参数调研的基础上,分析了感应电机驱动系统三相主回路输入电压和转速的变化对电磁噪声的影响,得出以下结论。

(1) 感应电机转速处于低转速(1000r/min)时,感应电机驱动系统三相主回路电磁噪声主要在0~6MHz频率段内,增大电压时电磁噪声有所增加,但增幅不大;

(2) 感应电机是否运转对低频电磁噪声影响不大,而对高频电磁噪声影响很大,随着转速增高电磁噪声呈增大趋势,在频率17MHz附近出现相对峰值;

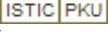
(3) 感应电机处于低转速时,电磁噪声在30MHz频率点已基本稳定,而电机处于高转速(大于6000r/min)时,电磁噪声在30MHz频率点还未达到稳定,须扩大频率范围进一步观察;

(4) 对感应电机电磁噪声大的频率区间须采取滤波、屏蔽和接地等措施降低电磁噪声,从而保证燃料电池轿车的安全性和可靠性。

### 参考文献

- [1] 刘翔海. 燃料电池及其相关技术在汽车领域的应用与研究[J]. 汽车研究与开发,2001(9):25-28.
- [2] 袁海林. 电动汽车及其驱动电机的发展概况[C]. 第十一届中国小电机技术研讨会论文集,2006:31-36.
- [3] Souza L N De, Braga R A M, Libano F B. Introduction to Conducted Electromagnetic Emission from Inverted-fed Induction Motor Drives According to the Electromagnetic Compatibility (EMC) Requirements[C]. IEEE Russia Power Tech,2005.

## 燃料电池轿车驱动电机电磁噪声的实验研究

作者: [张戟](#), [蔡浩雄](#), [王洪武](#), [Zhang Ji](#), [Cai Haoxiong](#), [Wang Hongwu](#)  
作者单位: [同济大学新能源汽车工程中心, 上海, 201804](#)  
刊名: [汽车工程](#)   
英文刊名: [Automotive Engineering](#)  
年, 卷(期): 2013, 35(2)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_qcgc201302017.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_qcgc201302017.aspx)