

电动汽车传导充电系统辐射干扰分析与测试研究

胡建,徐泉,曹冬冬,刘桂彬

(中国汽车技术研究中心有限公司,天津 300300)

[摘要]传导充电作为电动汽车实现能量补给的一种形式,其工作方式及状态会直接影响电动汽车整车辐射发射强度。为有效探究并解决电动汽车传导充电系统电磁兼容问题,本文着重分析和介绍了系统组成以及辐射干扰形成机理,并在此基础上分别对电动汽车以及传导充电系统进行了辐射干扰测试。研究表明:大功率充电模块是导致传导充电系统产生辐射干扰的主要根源,对应不同充电方式及状态,车辆辐射发射测试结果会存在一定差异性;除此之外,应根据电动汽车、连接装置以及充电设备实际工作状态及相对位置制定测试方案,用以为全面客观评估传导充电系统对于外界敏感设备或公共电网造成干扰。

关键词:电动汽车;传导充电系统;辐射干扰;测试研究

Analysis and Testing of Radiated Interference in Conductive Charging System of Electric Vehicles

HuJian,XuXiao,Cao Dongdong,LiuGuibin

(China Automotive Technology and Research Center Co., Ltd., Tianjin 300300)

[Abstract] Conductive charging is a form of energy replenishment for electric vehicles, and its working mode and state will directly affect the radiated emission. In order to effectively explore and solve the EMC problems of conductive charging system, the analysis and testing of radiated interference in conductive charging system of electric vehicles was carried out in this paper. The results show that the high-power charging module is the main source of radiated interference, and testing results of vehicle will be some differences with different charging modes and states. Moreover, the test scheme should be formulated according to the actual working status and relative position of electric vehicles, connecting devices and charging equipment.

Keywords: electric vehicle,conductive charging system,radiated interference,testing research

0 前言

伴随电动汽车产业的快速发展以及现代电子技术在汽车领域的推广应用,电磁兼容技术已成为影响电动汽车安全性与可靠性的关键技术^[1,2]。相比于传统汽车,电动汽车所配备的大功率高压电气部件(如驱动电机、高压动力电池和功率开关等)在实际运行过程中会产生较强的电磁干扰信号,它们在影响周边电磁环境的同时也会对车载电子系统造成干扰^[3,4]。另外,由于电动汽车在不同工作状态或运行场景下,电磁干扰形成机理会有所差异,因此为有效减小车载电气设备之间的相互影响以及对车外环境的电磁发射,需分场景对电动汽车整车及关键系统电磁兼容问题进行探讨与分析^[1]。

传导充电作为电动汽车实现能量补给的一种形式,其工作方式及状态会直接影响电动汽车整车辐射

发射强度,现有国内外研究成果主要侧重传导充电系统电磁干扰机理分析及抑制措施^[5,6],鲜有文献关注传导充电系统电磁干扰测试方法研究。

为有效探究并解决电动汽车电磁兼容问题,本文以电动汽车传导充电系统作为主要研究对象,对电磁干扰产生机理展开分析,并在此基础上分别对电动汽车以及传导充电系统进行测试研究。

1 电动汽车传导充电系统及电磁干扰机理分析

1.1 电动汽车传导充电系统

电动汽车传导充电是指充电设备通过连接装置将电网电能补充至电动汽车的过程,如图1所示。根据进入电动汽车充电接口电流种类的不同,充电设备可分为交流充电桩与直流充电桩(或称为“非车载充电机”)。其中,交流充电桩通过车载充电机(OBC, On-board Charger)将电网交流电转换为可充电用直流电,

而直流充电桩则通过自身内置的大功率充电模块将电网交流电直接转换为可充电用直流电。

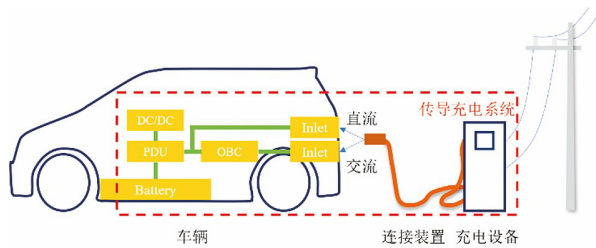


图1 电动汽车传导充电系统

对于电动汽车传导充电系统，尽管交流充电桩与直流充电桩在电能转换方面略有差异，但就充电过程及功能实现本身而言，其核心技术在于AC-DC充电模块的应用。AC-DC充电模块典型结构如图2所示，其组成主要包括AC-DC整流器、DC-AC逆变器、高频变压器以及通信控制单元等模块^[7]。

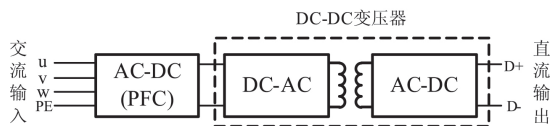


图2 AC-DC充电模块

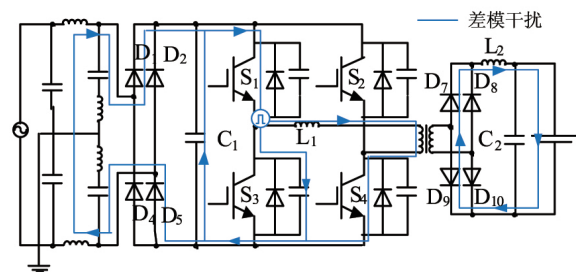
1.2 电磁干扰机理分析

电磁兼容性通常是指电子电气系统或设备在一定电磁环境条件下能够正常工作且不对其它系统或设备造成电磁干扰的能力，其基本三要素为骚扰源、耦合路径以及敏感设备^[8]。电动汽车在不同工作状态或运行场景下，电磁干扰形成机理会有所差异，因此，需分场景对电动汽车关键系统电磁兼容问题进行探讨与分析。

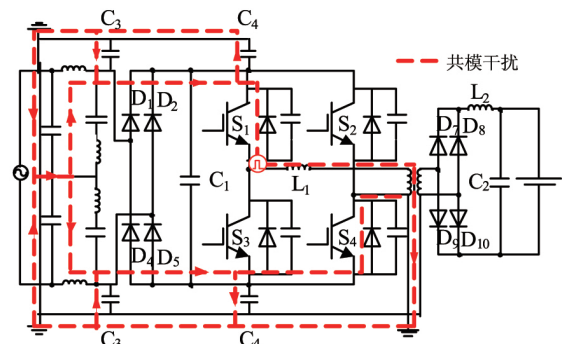
由1.1节内容可知，电动汽车处于传导充电状态时，充电设备、连接装置以及电动汽车高压系统和部件处于工作状态。充电模块的功率开关由控制器产生的PWM（脉宽调制）信号控制，其开关频率通常为2KHz~20KHz，功率开关器件的快速通断会产生较高的瞬变电压与大脉冲电流，从而形成一个较强的骚扰源；除此之外，充电模块中包含AC-DC整流器，由于AC-DC整流器是一个典型的非线性设备，因此其在工作时也会对交流电网产生少量电磁干扰，并通过设备电源线对其他设备造成影响。

电磁干扰按耦合路径主要包括传导干扰与辐射干扰，其中传导干扰可以以电流或电压共模（不对称）或差模（对称）形式出现^[9]。传导充电系统差模干扰耦合路径如图3(a)所示，图中IGBT动作使得逆变器在输出侧

产生差模电流，差模电流经由变压器会形成两个环路；传导充电系统共模干扰耦合路径如图3(b)所示，图中C3和C4分别为直流线缆和逆变器对地电容，由于变压器不能与地面完全绝缘，因此逆变器输出侧共模电流会对电池组造成一定干扰。此外，传导充电系统产生的差模电流与共模电流会通过线缆形成小环天线或线天线，然后通过介质将干扰信号以电磁波形式耦合，从而对其它系统或者设备造成辐射干扰。



(a) 差模干扰耦合路径



(b) 共模干扰耦合路径

图3 传导充电系统电磁干扰

2 电动汽车传导充电系统辐射干扰测试研究

辐射干扰是指通过空间以电磁波形式传播的电磁干扰，相比传导干扰而言，其测试结果准确度通常与场地环境、设备性能、测试方法以及试验布置等因素有关。现有ECE R10.5、IEC 61851-21-1-2017等汽车技术法规和标准当中规定了电动汽车在传导充电状态下车辆辐射发射试验布置要求和测试方法，相关试验结果能够较为客观统一的反映和评测车辆自身电磁兼容性能和问题。然而，从保护外界敏感设备或公共电网不受电磁干扰角度出发，电动汽车、连接装置以及充电设

备所组成的传导充电系统处于同一电磁环境之中,传导充电系统各部分所产生的骚扰信号会以复合信号形式对敏感设备或公共电网造成干扰。因此,如果单纯以车辆作为测试对象,对应测试结果不能全面客观反映和评测传导充电系统对于外界电磁环境所造成的影响。

基于以上考虑,本文依据 ECE R10.5 搭建如图 4 所示的辐射发射测试方案^[10]。其中,为表征电动汽车自身以及传导充电系统电磁兼容问题,本文固定交流充电桩(充电设备)与车辆之间的相对距离,并将交流充电桩分别置于屏蔽与非屏蔽两种测试状态,对应电动汽车及传导充电系统辐射发射测试结果如图 5 所示。

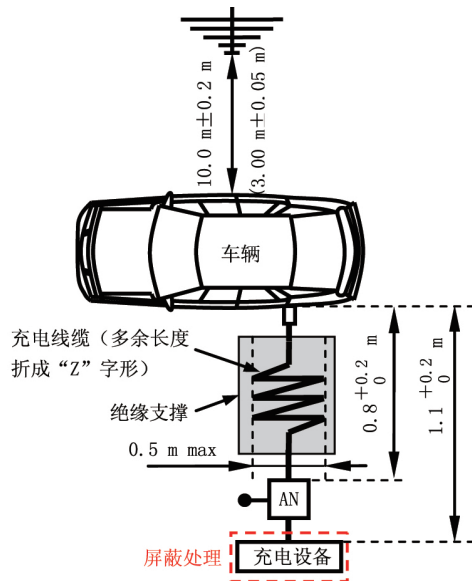


图 4 电动汽车及传导充电系统辐射发射试验布置

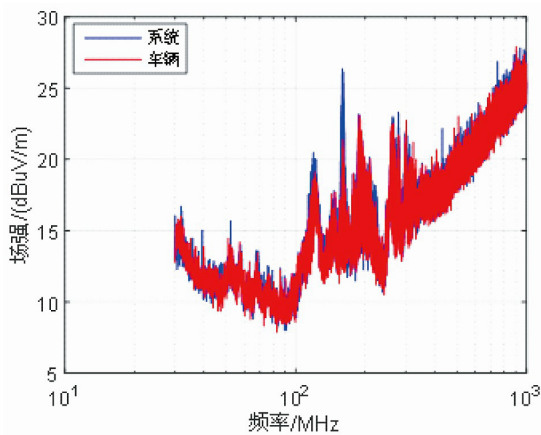


图 5 电动汽车及传导充电系统辐射发射测试结果

结果显示,在测试频段范围内,由于交流充电桩屏蔽状态的改变,电动汽车传导充电系统会在 110MHz 和 160MHz 频点附近产生较强的辐射干扰信号,该信

号通常会对 FM 和 VHF 等业务造成干扰。但与此同时可以看出,虽然电动汽车与传导充电系统在辐射发射测试结果上存在一定差异性,但就整体变化趋势而言,二者测试结果大致相同,即传导充电系统辐射干扰主要来自电动汽车本身。

此外,在电动汽车实际充电过程中,充电设备一般置于电动汽车车头或者车尾位置,因此,如果从系统层面来考察电动汽车辐射发射问题,现有测试方案和布置要求不能客观反映传导充电系统实际运行状态和问题。基于此,本文搭建如图 6 所示的辐射发射测试方案。其中,交流充电桩与车辆横向距离分别为 60cm 和 100cm,对应传导充电系统辐射发射测试结果如图 7 所示。

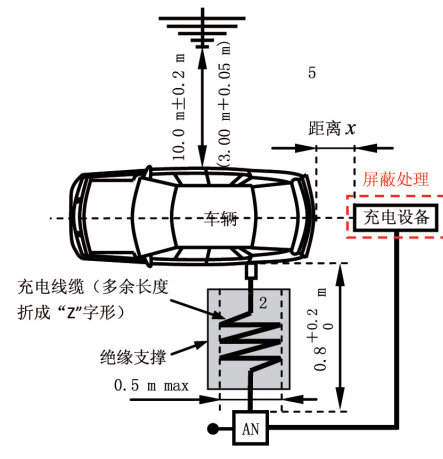


图 6 电动汽车及传导充电系统辐射发射试验布置 (调整充电设备位置)

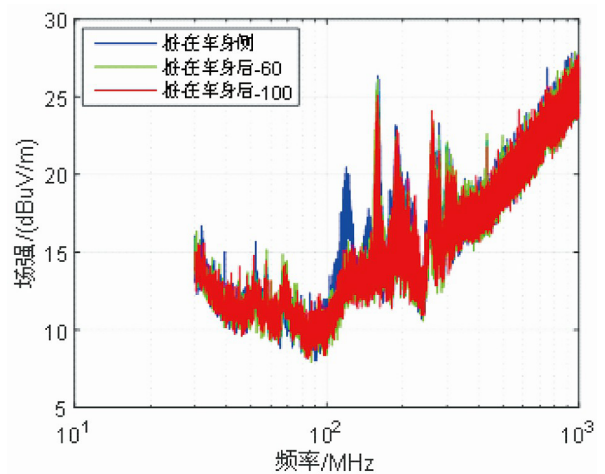


图 7 电动汽车及传导充电系统辐射发射测试结果 (调整充电设备位置)

由测试结果可以看出,将交流充电桩置于车尾一侧,传导充电系统辐射发射测试结果在 110MHz 频点

附近会有明显减小,即交流充电桩与电动汽车相对位置会对最终测试结果造成一定影响。因此,在评测电动汽车传导系统电磁兼容问题时,应将电动汽车、连接装置以及充电设备作为整体进行考量,相关试验测试方案应根据实际应用场景进行适当调整。

在以上两组测试内容基础之上,本文将充电设备改为直流充电桩,然后根据图6所示测试方案对同一车辆进行辐射干扰测试。其中,直流充电桩分别处于屏蔽与非屏蔽两种测试状态,且与车辆之间横向距离为100cm,对应传导充电系统辐射发射测试结果如图8所示。

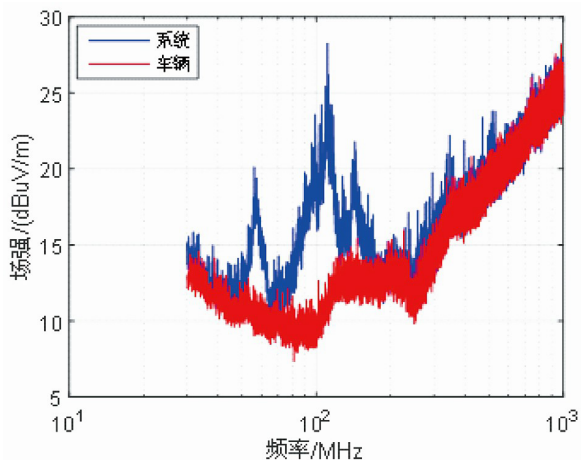


图8 电动汽车及传导充电系统辐射发射测试结果
(调整充电设备种类)

由测试结果可以看出,改变直流充电桩屏蔽状态会影响传导系统在50MHz~160MHz频段内辐射发射强度,且该数据较交流充电桩测试结果而言,其影响程度更大。

通过以上三组试验数据分析可知,大功率充电模块是导致传导充电系统产生辐射干扰的主要根源,对应不同充电方式及状态,车辆辐射发射测试结果会存在一定差异性;另外,如果从保护外界敏感设备或公共电网不受电磁干扰角度出发,车辆辐射发射测试结果不能全面客观反映外界电磁环境所受影响。基于以上结论,本文建议在开展电动汽车传导充电系统辐射干扰测试与研究中应遵循如下原则:1)根据实际充电方式及状态测量车辆辐射发射强度,对应试验结果用于产品认证或评估车辆自身电磁兼容性能;2)根据实际

工作状态调整电动汽车、连接装置以及充电设备相对位置,然后参考图6测试方案测量系统辐射发射强度,对应试验结果主要用于评估系统对于外界电磁环境所造成的影响。

3 结束语

本文以电动汽车传导充电系统作为主要研究对象,着重分析和介绍了系统组成以及辐射干扰形成机理,并在此基础上分别对电动汽车以及传导充电系统进行了辐射干扰测试。通过以上研究,本文主要结论如下:1)大功率充电模块是导致传导充电系统产生辐射干扰的主要根源;2)辐射发射测试结果与车辆充电方式和状态有密切关系,为此在评估车辆自身电磁兼容性能研究过程中,应根据电动汽车实际方式分别开展辐射干扰测试;3)在产品测试基础之上,为全面客观评估传导充电系统对于外界敏感设备或公共电网造成干扰,应根据电动汽车、连接装置以及充电设备实际工作状态及相对位置制定测试方案。

参考文献

- [1] 翟丽. 车辆电磁兼容基础[M]. 北京:机械工业出版社, 2012.
- [2] 刘喆. 电动汽车电机驱动系统的传导干扰建模与抑制方法研究[D]. 重庆:重庆大学, 2015.
- [3] 高新杰, 李国珍, 李燕侠, 等. 电动汽车常见的EMC问题与特性[J]. 安全与电磁兼容, 2015(3):15-19.
- [4] 石也. 纯电动汽车电磁兼容问题分析与研究[J]. 汽车电器, 2018(1):1-3.
- [5] 牛利勇, 汤一波, 金宝俊. 电动汽车充电系统电磁兼容与干扰抑制研究[J]. 华东电力, 2009, 37(10):1689-1693.
- [6] 舒应超, 姚卓民, 李乔, 等. 电动汽车充电系统电磁干扰及抑制方法研究[J]. 电光系统, 2014(1):57-60.
- [7] Hirsch H, Jeschke S, Wei L, et al. Latest development of the national and international EMC-standards for electric vehicles and their charging infrastructure [C]// IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility. IEEE, 2015: 708-713.
- [8] Clayton R. Paul. 电磁兼容导论[M]. 北京:人民邮电出版社, 2007.
- [9] 马伟明, 张磊, 孟进. 独立电力系统及其电力电子装置的电磁兼容[M]. 北京:科学出版社, 2007.
- [10] ECE R10.5, Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to electromagnetic compatibility[S]. 2014.