

高低压线缆耦合仿真分析

黎小娇，雷剑梅，赖志达，高阳春，白云
中国汽车工程研究院股份有限公司 EMC 检测部

【摘要】 线束的干扰问题是汽车电磁兼容问题中的重要组成部分，因此汽车线束的电磁兼容设计非常重要。本文主要讨论高低压线缆的耦合问题，利用软件建立线束耦合的仿真模型，分析高低压线束共线长度、线束间距、离地高度以及低压敏感线束端接负载阻抗对线束间串扰的影响，为整车电磁兼容设计阶段汽车线束的布置提供参考。通过仿真分析可知，在对汽车高低压线束布线时，应尽可能减小共线长度，增大线束间距，并使线束尽可能靠近布置，以减小高低压线束间的串扰。同时，可通过适当减小低压敏感线束近端负载阻抗，来降低高压骚扰源对整车线束和低压电气系统的影响。

【关键词】 线束串扰，共线长度，线束间距，离地高度，负载阻抗

The Simulation Analysis of High-voltage and Low-voltage Cables Coupling

Li Xiaojiao, Lei Jianmei, Lai Zhida, Gao Yangchun, Bai Yun
EMC Department, China Automotive Engineering Research Institute Co., Ltd.

Abstract: The interference of wire harness is an important part of electromagnetic compatibility, thus the electromagnetic compatibility design of automobile wire harness is very important. This paper mostly discussed high-voltage and low-voltage cables coupling, and a simulation model was established with software to analyze the effects of wire harnessesparametereson crosstalk, such as collinear length, distance between wire harnesses, height above the ground and load impedance of low-voltage sensitive harness, which provides reference for the layout of the wire harness in the EMC design phase of the vehicle. Simulation results show that we could reduce the collinear length, increase the separation distance of wire harnesses and make them close to ground as much as possible to reduce crosstalk, or could decrease the near-end load impedance of sensitive wire harnesses properly.

Key words: crosstalk between wire harnesses, collinear length, separation distance of wire harnesses, height above the ground, load impedance

引言

随着汽车技术不断向电子化和智能化方向发展，车载电子设备的不断增加，汽车的电磁环境不断恶化。线束作为各类电子设备的连接纽带，在汽车的电磁兼容问题中起着非常重要的作用。新能源汽车技术，尤其是电动汽车和混合动力车技术的发展，又使得汽车线束中出现了承载高电压、大电流交变信号的高压线束，其上的骚扰通过各种渠道耦合至敏感信号线束中，对汽车电子的功能性和可靠性造成了很大威胁。因而，对汽车上线束，尤其是高低压线束间的串扰问题进行研究具有极为重要的工程价值。

目前，对汽车线束的电磁兼容问题研究也有很多，多是围绕线束电磁辐射进行研究，单独对线束间的串扰研究相对较少。文献 [3] 到 [6] 进行整车级电磁兼容分析，对整车内线束的辐射问题进行了仿真。文献 [7] 和 [8] 主要针对主要针对不同导线离地高度和导线间距等对线束电磁干扰进行了研究。文献 [9] 利用 Matlab 编程仿真的方法仿真计算导线半径、离地高度、导线间距以及端接线性负载和非线性负载对线束串扰的影响，并建立整车模型仿真车内线束对整车辐射干扰的影响。

本论文重点研究了高低压线束的耦合问题，利用 CST 软件建立高低压线束耦合模型，对线束间的串扰进行了仿真分析，并提出减小线束间串扰的方法以及分析线束串扰对整

车线束及低压电气系统的影响，对整车电磁兼容性能设计和分析具有工程参考意义。

1 汽车线束间的骚扰耦合机理

线束的串扰通过导线寄生参数的电感性耦合、电容性耦合产生，寄生参数是串扰产生的根本原因。线束串扰一般有容性耦合和感性耦合两种方式。

1.1 容性耦合

如图 1 所示，为线束之间的电容性耦合原理图。两条平行导线分别组成骚扰源电路（简称源电路）和敏感电路（简称接收电路）。两条平行导线间的耦合电容用 C_m 表示。源电路的骚扰电压为 U_s ， R_{s1} 为源阻抗， R_{L1} 为源电路的负载， C_1 为源电路对地分布电容。接收电路的近端负载（即离骚扰源电路较近的负载） R_{L2} ，接收电路的远端负载为 R_{L2} ，导线对地分布电容为 C_2 。只要骚扰线束上电压高，电流小，那么它与敏感线束之间的耦合主要通过电场耦合发生。

1.2 感性耦合

如图 2 所示，为线束感性耦合的原理。当源电路的导线中流过的电流大，但电压较低时，源电路对接收电路的骚扰耦合主要通过磁场进行，因此可以用两个电路间的互感来分析。图中源电路电感为 L_1 ，接收电路的电感为 L_2 ，两电路