

试
验
检
测

轨道车辆电磁兼容性设计技术

张红江, 吴冬华, 张 安

(南车青岛四方机车车辆股份有限公司 技术中心, 山东 青岛 266111)



作者简介: 张红江 (1978-), 男, 工程师, 主要从事轨道车辆的电气原理、电气接口设计及轨道车辆的电磁兼容性研究工作。

摘 要: 通过分析电磁干扰产生的三要素以及抑制电磁干扰的基本原理, 详细研究和介绍了提高轨道车辆电磁兼容性能的常用设计技术和措施, 为轨道车辆电磁兼容性设计提供参考。

关键词: 轨道车辆; 电磁兼容性; 电缆敷设; 接地; 屏蔽; 滤波

中图分类号: TN03; U26 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-128X(2011)03-0061-04

EMC Designing Technology for Rail Vehicles

ZHANG Hong-jiang, WU Dong-hua, ZHANG An

(Technology Center, CSR Qingdao Sifang Locomotive & Rolling Stock Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266111, China)

Abstract: Based on analysis of three generating factors and suppressing principles of EMI, general designing technologies and measures to improve EMC performance of rail vehicles were detailedly studied and introduced, which provides references for practical designing.

Key words: rail vehicle; EMC; cable laying; grounding; shielding; filtering

0 引言

轨道车辆目前大都采用先进的大功率变频、变压逆变器, 整流器和各种先进的控制网络、信号自动驾驶系统等设备, 同时各种电子设备的频带也越来越宽。车辆系统形成了一个带有复杂的电磁能量的巨大移动源。车辆设备和系统一旦发生电磁干扰问题, 轻则导致系统出现信号指示错误, 重则使列车的信号、制动等系统瘫痪, 导致车辆无法正常运营, 这就对轨道车辆的电磁兼容性提出了较高的要求。

目前, 轨道车辆的电磁兼容性设计和测试标准主要是EN50121:2006系列标准、IEC62236:2003系列标准。这些轨道车辆的电磁兼容性标准仅为轨道车辆需要达到的电磁兼容性能制定了发射和抗扰度的限值要求或评判标准, 为车辆的电磁兼容性能提供了测试依据, 但它们并不是一套具体的详细用来指导设计和制造的标准, 车辆设计人员无法直接了解采用哪些具体的电磁兼容技术措施设计车辆, 提高车辆的电磁兼容性能。因此了解轨道车辆的电磁兼容性设计技术和应用对广大设计人员尤为重要。

1 抑制电磁干扰的基本原理

众所周知, 产生EMI (电磁干扰) 必须具备3个基本要素: 即干扰源、耦合途径或传播通道、干扰对象。从干扰源把电磁能量传到受干扰对象有2种方式: 传导方式和辐射方式。从接收器的角度看, 耦合可以分为两类: 传导耦合和辐射耦合。传导耦合分为直接传导耦合、公共阻抗耦合和转移阻抗耦合。辐射耦合分为场(天线)对天线的耦合、场对电缆耦合和电缆对电缆的耦合, 见图1。

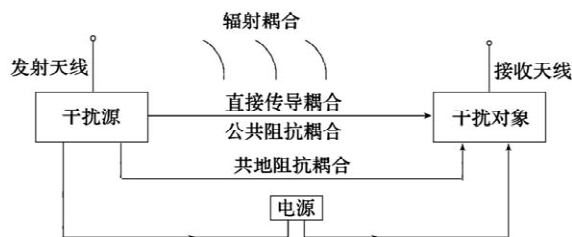


图1 电磁干扰传播途径示意图

传导耦合必须在骚扰源和敏感设备之间有完整的电路连接, 骚扰信号沿着这个连接电路传递到敏感设备, 发生干扰现象。辐射耦合是通过介质以辐射电磁波形式传播, 骚扰能量按电磁波的规律向周围空间发射。

收稿日期: 2011-01-21

因此,抑制电磁干扰有3种基本方法,而基本方式的实施又有几种不同的设计技术,见表1。

表1 轨道车辆EMC设计技术

基本方法	可采用的具体设计技术
消除骚扰源或削弱它对外产生电磁骚扰的强度	接地技术、滤波技术、屏蔽技术、EMC 质量管理(选型)等
破坏干扰传播的途径或减少干扰耦合度,减少噪声传播的可能性	设备合理布局、电缆合理选型和敷设等
精心设计受害设备的选择性或提高采取特别的防护使其抵抗外部干扰,提高受害设备对干扰的耐受能力	接地技术、滤波技术、屏蔽技术、EMC 质量管理(选型)等

2 EMC 设计技术

抑制电磁干扰的3种基本方法在轨道车辆电磁兼容性设计中主要采用以下几种技术。

2.1 设备合理布局

显然,抑制干扰源和受干扰设备之间的电磁干扰的一种有效方法是增加两者之间的距离。根据轨道车辆设备的电气特性,将电气设备分为干扰源和敏感设备。车辆的牵引系统和辅助系统应定义为干扰源,车辆控制系统、制动系统、信号系统应当定义为易受干扰的敏感设备。同时,应进一步制定出干扰源的骚扰强弱等级和敏感设备的敏感程度的分类表。

车辆电气设备布置应当按上述分类,结合车辆的实际空间情况,在车辆上合理划分不同的区域,使相同等级的干扰源设备尽量集中布置,相同等级的易受干扰的敏感设备尽量集中布置,同时保证干扰源设备和敏感设备之间的距离尽可能大。比如电机、逆变器、滤波电抗器、高压开关、变压器等高压设备都应尽可能远离信号系统主机、车载无线电台以及各种接收天线安装。

2.2 电缆的选型和敷设

连接电缆可能会把干扰从一个电路或部位传输到别的地方。干扰可能来自电缆的辐射,也可能由外界引入电缆内部。一旦由于辐射或其阻抗线路元件把干扰引入到电子或电气设备的电缆线后,它便会通过电缆将干扰传导到其他设备,而且,电缆引线或其他电缆附件由于电路间电磁能量的交换可能在电缆内部或电缆间产生串扰。为抑制电缆对外骚扰或受到干扰,应当从2个方面考虑车辆电缆的设计。

2.2.1 电缆选型

通常情况下,电缆的选择由其使用功能和物理环境所决定,但是还应当考虑电缆传输的信号类型,通过对不同信号选择合适的电缆,对提高轨道车辆和设备的电磁兼容性能具有重要意义。

根据电缆的构成方式,电缆一般可分为非屏蔽电缆和屏蔽电缆。轨道车辆常用屏蔽电缆的类型主要有:单芯屏蔽电缆、多芯屏蔽电缆、屏蔽绞线、同轴电

缆等。

轨道车辆的牵引速度传感器、信号系统速度传感器等的电源线和数据传输线、PIDS系统的扬声器、报警器音频信号等应采用屏蔽电缆,数据传输线、音频线应尽量使用屏蔽绞线;车辆上的RS485或RS422以及CAN总线、以太网通信线缆等总线也应当采用屏蔽绞线;对于车载电台语音天线和数据天线、Tetra系统、WLAN系统等传输频率高的信号线采用同轴电缆;牵引逆变器电缆、牵引电机电缆、辅助电源电缆,应优先使用屏蔽绞接电缆;如果牵引逆变器和辅助逆变器经过适当的滤波处理,电磁干扰符合车辆电磁兼容标准要求,则可以不用采用屏蔽电缆。

2.2.2 电缆敷设

合理的电缆敷设可以有效地减少外部环境对信号的干扰以及各种线缆之间的相互干扰,提高车载设备运行的可靠性。同时,也便于查找故障原因和维护工作,提高产品的可用性。

合理敷设包括系统设备内各单元之间的电缆相对位置和电缆走线等,其基本原则是使受干扰对象和干扰源尽可能远离,输出与输入端口妥善分隔,高电压电缆及脉冲引线与低电压电缆分别敷设。

在TB/T 3153:2007标准中,轨道车辆的电缆根据用途至少分为3种类别,见表2。

表2 电缆的分类

EMC 电缆类别	电缆用途
A	供电电缆:电机电缆、制动电阻电缆、供暖电缆、网侧滤波器(变流器侧)电缆、辅助逆变器供电电缆、内燃机后机电缆等
B	蓄电池线路、二进制控制线路等
C	信号发送器线路、天线、扬声器线路、数据总线线路等

表2中规定的不同种类的电缆应尽可能地独立敷设。在轨道车辆上实际应用时,在空气中敷设的不同类别的电缆,其平行敷设时最小间距应按表3选取。

在不同类别电缆平行敷设时,之间的最小间距不能实现的情况下(特别是A类和C类电缆之间的间距),电缆应采用与车辆

表3 电缆的间隔距离

EMC 电缆种类	间隔距离/m
A 与 B	0.1
A 与 C	0.2
B 与 C	0.1

地相连的金属管、金属板、金属缆槽、整体屏蔽等进行隔离。在不同EMC种类的电缆交叉的情况下,可能无法应用表3规定的最小距离,电缆之间应该互为直角。

2.3 滤波技术

滤波是指将各类信号按照频率特性分类并控制它们的方向,是对某些频率点范围内的信号提供传输极点,而对另外一些频率内的信号提供传输零点的技术。滤波是抑制干扰和防止干扰的一项重要措施,采用滤波技术可以显著减小传导干扰的电平,因此干扰频谱

成分与有用信号的频率不相同, 滤波对于这些干扰信号的频率成分有良好的抑制能力, 从而起到其他抗干扰抑制技术难以起到的作用。所以采用滤波技术无论对于抑制干扰源和消除干扰耦合, 或是对于增强接收设备的抗干扰能力都是有力的措施。

轨道车辆的牵引逆变器、辅助逆变器的输入输出端设计均应采用滤波技术, 如利用铁氧体磁环、滤波电容或其他EMC干扰抑制器件, 以有效抑制逆变器对外界的辐射发射和传导干扰发射, 保证轨道车辆整车系统的电磁兼容性能得到提升, 见图2。

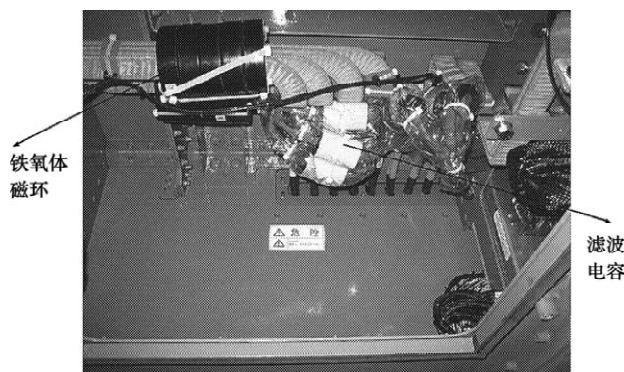


图2 逆变器的滤波

2.4 接地技术

合理解决轨道车辆的接地问题是解决电磁干扰问题最廉价和最有效的方法。良好的接地既能够提高抗扰度, 又能够减小干扰发射。

轨道车辆的接地按其功能分为保护接地和功能接地以及EMC相关接地。

车辆接地主要有3种: 保护接地(安全接地); 功能接地(工作接地); EMC相关接地。

2.4.1 保护接地

保护接地是为保障人身安全、防止直接或间接触电而将设备外露可导电部分进行接地。车辆电子电气设备外壳接地、车辆的防雷接地都属于保护接地。

牵引逆变器箱、静止逆变器箱等电气设备箱均应采用接地座通过接地线连接到车体上进行可靠接地, 提供足够的EMI回路, 将电气设备上积累的静电电荷释放掉, 保护乘客避免受到电击。同时牵引逆变器箱、静止逆变器箱等设备内的电力电子器件是车辆电磁兼容的主要干扰源, 而这些箱体的金属外壳接地起到一个大的“屏蔽罩”的作用, 可减少射频干扰。

电气设备箱的接地线应尽可能采用扁平金属编织带, 因为其在高频时阻抗较低。在高频下, 一个圆形导体比同样材料横截面的平板导体拥有更高的阻抗。

2.4.2 功能接地

功能接地是轨道车辆整个电气系统正常工作的必要条件, 一方面为泄放电荷或建立基准电平提供通道, 为电路正常工作而提供一个基准电位, 当该基准电位不与大地连接时, 视为相对的零电位, 这种相对的零

电位会随着外界电磁场的变化而变化, 从而导致电路系统工作的不稳定; 另一方面, 在电磁兼容设计中, 接地可以把噪声电压引入大地, 减少噪声干扰, 当该基准电位与大地连接时, 基准电位视为大地的零电位, 而不会随着外界电磁场的变化而变化。

功能接地并不是EMC措施固有的一部分, 最主要的作用是作为电源的回流线, 由于车体结构和其他导电部件可能通过杂散电流, 因此功能接地可能影响电压分配。

在轨道车辆上功能接地的DC 110 V电路在列车内应最终流回蓄电池负极, 负极应在车体底架接地, 起到电位参考作用; 直流高压供电电缆的负线以及交流供电的零线都应独立与车体进行接地; 辅助逆变器和牵引逆变器的高压直流回流均在通过绝缘电缆流向接地装置的碳刷, 再经钢轨接地。

2.4.3 EMC相关接地

EMC相关接地主要是指电缆的屏蔽层接地以及走线电缆槽、电缆金属管等接地。

2.4.3.1 电缆的屏蔽接地

电缆的屏蔽有2个目的:

①将注入到电缆的共模干扰电流通过屏蔽层引导到大地(接地设备), 使屏蔽层中的信号和电缆接口电路受到保护, 免受外界干扰。

②将信号线中的EMI信号包围在屏蔽层内, 保证电缆屏蔽层上也没有EMI共模电流。

如果电缆线屏蔽层两接地点处电势相同, 则电缆屏蔽层应采用两点接地, 见图3的上图; 如果电缆线屏蔽层两端将要接地的两点不等电势, 则屏蔽层必须一端接地, 见图3的下图。

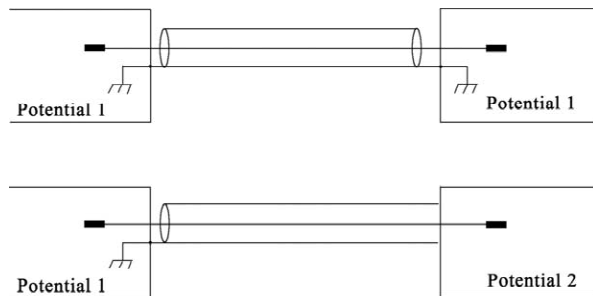


图3 电缆的屏蔽层接地方法

电缆的屏蔽层应当尽力避免“猪尾巴”, 因为“猪尾巴”接法将减小屏蔽层的屏蔽能力。当实际情况不允许时, 车辆上各种屏蔽电缆的屏蔽层辫线保留长度一般应小于50 mm, 绞线必须严格保持绞接, 非绞接一般应小于50 mm。

2.4.3.2 金属线槽和线管的接地

轨道车辆上的电缆大多情况下敷设在金属走线槽或者金属线管中, 为避免车辆高压大电流电缆对外接电磁骚扰或提高灵敏电缆的抗干扰性能, 金属线槽和线管必须与车体连接接地。试验证明金属线槽和线管

采用多点或两点接地方式的屏蔽效果明显好于单点接地方式。金属线槽与线管的接地线也应尽可能采用扁平金属编织带,见图4。

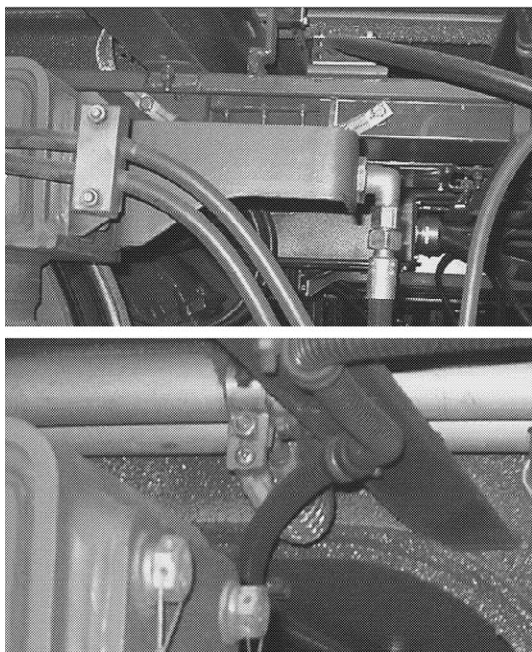


图4 线槽与线管的接地处理

2.5 屏蔽技术

屏蔽技术用来抑制电磁噪声沿空间的传播,即切断辐射电磁噪声的传播途径。通常使用金属材料或磁性材料把所需屏蔽的设备或区域包裹起来,使屏蔽体内外电磁场相互隔离。

屏蔽的利用主要分为两个方面:一是屏蔽电缆的应用,二是设备结构的屏蔽。这里仅对设备的结构进行讨论。设备结构屏蔽分为电场屏蔽、磁场屏蔽、电磁场屏蔽3种类型。屏蔽所用材料也要从具体情况出发。

2.5.1 电场屏蔽

电场的干扰主要是车辆设备上的高频高压线缆对低压敏感导线的感应所引起的干扰。电场屏蔽应遵循以下主要原则:

①选择铜、铝合金材料作屏蔽体材料,屏蔽体要靠近受保护的物体,而且屏蔽板的接地要良好。

②屏蔽板形状对屏蔽效能有明显的影响。全封闭的金属盒具有最好的电场屏蔽效果,而开孔和缝隙对屏蔽效果有不同程度的影响。

2.5.2 磁场屏蔽

轨道车辆上的高压滤波电抗器、变压器等由于工作的电流变化较大,从而产生磁场的变化。这些设备产生的磁场大都属于直流磁场或100 kHz以下的低频磁场。为抑制直流磁场或者是低频交流磁场对其他设备或人体的伤害,可以使用高导磁率和低磁阻特性的铁磁性材料将敏感器件包起来,使敏感器件周围的磁力线集中在屏蔽材料中,从而使屏蔽体内的磁场大大减弱,对敏感器件起到屏蔽的作用。

为降低滤波电抗器等设备在轨道车辆客室内产生的磁通密度,轨道车辆滤波电抗器正上方附近一般设置强磁性屏蔽板,必要时可采用双层屏蔽,屏蔽板采用铁镍合金等高磁导率材料,见图5。

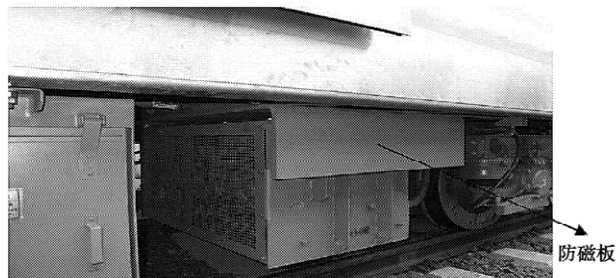


图5 磁场的屏蔽

2.5.3 电磁场屏蔽

电磁场屏蔽用于抑制骚扰源和敏感设备距离较远时通过电磁场耦合产生的干扰。电磁场屏蔽的屏蔽板应使用电阻率较小的良导体材料。牵引系统逆变器和辅助系统逆变器设备的箱体、电缆线槽、线管等均应采用高导电性的金属材料,并且做好接地处理。

2.5.4 合理的结构设计

轨道车辆设备箱体和电缆线槽不可避免地在壳体存在箱盖与箱体、槽盖与槽体的连接缝隙和电缆进出线开孔、通风孔等孔缝。这些孔缝会造成电磁波的泄漏。缝隙的长度是影响电磁泄漏的重要因素。箱体和线槽的开孔和缝隙设计应遵循以下原则:

①机箱和线槽应尽可能减少不必要的孔洞,尽可能减少额外的缝隙。

②避免开细长孔,通风孔尽量采用圆孔并阵列排放。

③对接合表面不平整,盖板厚度不当,紧固件不足等原因造成盖板弯曲出现孔缝的情况,为提高电磁兼容性能,作为补救措施,采用电磁密封衬垫是一个很好的办法。

2.6 EMC 质量管理

为保证整个车辆系统的EMC性能,一方面车辆设计者对自身可以控制的内容可以采用上述常用EMC设计技术提高车辆的EMC性能,另一方面必须在采购合同中严格要求电气系统或部件或由车辆业主供应信号系统等设备的EMC性能。这就要求对自行采购的电气系统或部件必须在采购合同中,严格要求供应商提供正式的合格电磁兼容性测试报告,严把质量关;对由车辆业主供应的信号系统等设备也必须明确要求符合轨道车辆相关电磁兼容性标准的规定。

3 结语

轨道车辆的电磁兼容性的优劣,影响着车辆的运行可靠性和安全性。本文详细分析和介绍了轨道车辆电磁兼容性常用设计技术,为轨道车辆的电磁兼容性设计提供了重要的参考方法和思路。(下转第76页)

3) 语音处理模块

语音处理模块的主要功能如下：完成对其他模块设置语音信息的优先级排序工作，对发音进行控制，处理主机发来的语音信息，背光调节。

4) 主程序模块

主程序模块的主要功能如下：图形显示功能，动态曲线的计算，地面数据处理，对IC卡、U盘数据的读写操作及分析处理，提供美观、友好的人机接口，实现本地的配置、参数输入功能。

5) 安全验证模块

安全验证模块定义了一块共享内存，用于存放显示数据，这样可以将自身的数据与主程序模块的数据进行比较，进行一致性的检验。如有问题则报故障并通知运行监视及管理模块。

图3 是车载显示系统的应用层软件结构框图。

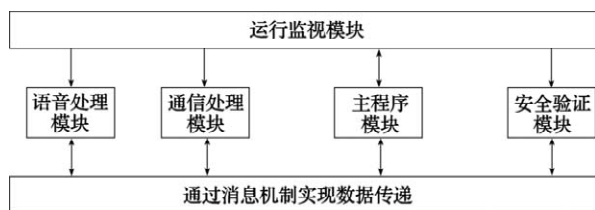


图3 应用层软件结构简图

3.3 软件结构的特点

各模块均以进程形式运行。因为进程间的内存空间是完全受保护的，所以某一个模块发生异常退出不会影响到其他模块的运行。各模块相对独立，可以独立编译、运行、升级，为今后的程序维护提供了方便。

3.4 程序模块通信图

程序模块通信图如图4所示，其主要步骤如下：

①运行监视进程首先启动其他进程，监视主程序模块的状态，当主程序模块终止时，运行监视模块将终止其他模块，并报故障状态，停止其他进程。

②CAN通信处理子模块实现与监控主机的数据通信，并通过消息机制实现与主程序模块之间的数据传输。

③RS485通信处理子模块接收从微机柜发过来的信息，并将相关信息发送到主程序模块。

④主程序模块从CAN通信处理子模块获取必要的信息，绘制主界面图形；从IC卡或U盘获取揭示信息，并通过CAN通信处理子模块发送给监控主机；从IC卡或U盘读取数据文件，并对其进行分析，获取数据提供

给图形显示；提供信息显示和查询。获取按键信息，实现参数输入功能，发送给监控主机。

⑤安全验证模块对关键区域进行绘制，绘制完成后通知主程序模块，然后主程序模块在下一个周期将安全验证模块的绘制内容与自身绘制的内容进行比较（只对关键区域绘制内容进行比较）。如果关键区域内容一致，则将这个周期的报文发送给安全验证模块；如果内容不一致，则系统故障。

⑥语音处理模块从CAN通信处理子模块获取监控主机发送的语音信息，并根据语音信息进行发音处理。或从主程序模块获取语音信息，实现控制发音。

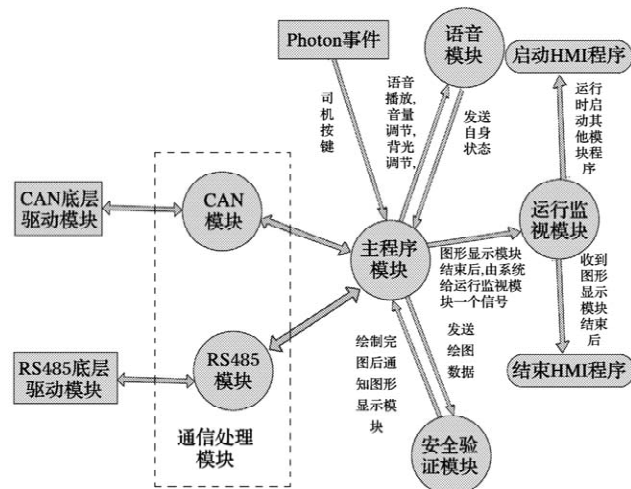


图4 程序模块通信图

4 结束语

本文在对车载显示系统功能需求分析的基础上，针对QNX操作系统高度模块化的应用软件体系的特点及良好的图形开发环境，提出了一种高可用性的应用软件设计结构。该软件设计结构在车载显示系统的开发与调试阶段得到了试验验证，并且效果很好。

参考文献：

- [1] QNX Soft System Ltd. QNX Neutrino Realtime Operating System Architecture [EB/OL].http://www.qnx.com, 2002. [2010-06-28].
- [2] QNX Soft System Ltd. QNX Neutrino Realtime Operating System Programmer's Guide [EB/OL].http://www.qnx.com, 2002. [2010-06-28].
- [3] QNX Soft System Ltd. QNX Neutrino Realtime Operating System Utility Reference [EB/OL].http://www.qnx.com, 2002. [2010-06-28].

(上接第64页) 由于轨道车辆是一个复杂的机电系统，针对车辆的电磁兼容性设计技术和应用方法仍需要进一步详细研究。

参考文献：

- [1] 周志敏，纪爱华. 电磁兼容技术·屏蔽·滤波·接地·浪

涌·工程技术[M]. 北京：电子工业出版社，2007.

- [2] 钱振宇，史建华. 电气、电子产品的电磁兼容技术及设计实例[M]. 北京：电子工业出版社，2008.

- [3] TB/T 3153—2007，铁路应用—机车车辆布线规则[S].

- [4] 杨君，苑丰彪. 高速动车组电磁兼容性设计研究[J]. 机车电传动，2009(2)：13-16.