

履带车辆特殊路面谱实车测试与分析

明波, 贾进峰

(装甲兵工程学院, 北京 100072)

摘要: 基于GB/T 7031—2005建立了路面谱模型, 分析了加速度法测试履带车辆特殊路面路面谱的基本原理, 并以此为理论依据, 设计出在第一、五负重轮轮轴处安装加速度传感器并得出时域曲线的测试方案, 分别记录了不同速度下长度为4 m的长波路和越野土路的加速度时域曲线, 利用Matlab分析软件生成位移功率谱密度, 并拟合出标准路面谱, 计算出特征值。

关键词: 履带车辆; 路面谱; 功率谱密度; 空间频率; 时间频率

中图分类号: TH 703.62; TJ811; TJ812 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2012)05-0037-05

Test and Analysis of Special PSD of Tracked Vehicles

MING Bo, JIA Jin-feng

(Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China)

Abstract: Road surface profiles model was established based on GB/T 7031—2005. The basic principle of using acceleration method to measure special PSD of tracked vehicles was analyzed. According to these theories, acceleration sensors were fix on the axles of the 1st and 5th loading wheels and the time frequency curve was obtained. Acceleration time domain curves on 4 m long wave road and off-road road at different speeds were measured and recorded. The displacement PSD was acquired by using Matlab software and standard road surface profiles were fitted and its characteristic values were calculated.

Key words: tracked vehicle; road surface profiles; power spectral density (PSD); spatial frequency; time frequency

履带车辆行驶路面情况非常复杂, 其路面的不平度是引起车辆振动的主要激励, 其产生的随机振动响应将直接影响乘坐舒适性、射击准确性和结构强度的可靠性。路面谱是指路面沿长度方向的起伏波形。传统的车辆行驶试验往往是依据GB/T 7031—2005在常规路面上进行, 而装甲车辆所行驶

的路面多数为非人工路面, 其路况非常复杂, 与通常意义上的公路有很大差别, 基于常规路面的路面谱测量方法并不完全适用。因此, 准确测试履带车辆在典型路面和越野(非人工)路面特殊路面谱信息, 可用于评价车辆行驶平顺性, 分析履带车辆悬挂系统的减振效率、预期系统寿命和改进设计所需

收稿日期: 2012-07-22

作者简介: 明波(1960—), 男, 山东淄博人, 高级实验师, 主要从事车辆技术使用方面的教学与研究。

的依据。

以某型履带式装甲车辆为研究对象,路面谱模型为参考,运用加速度法测试特殊路面的路面谱,对典型路面及越野路面在不同车速条件下进行实车试验,利用 Matlab 软件对负重轮轮轴处加速度时域曲线进行功率谱及路面谱分析,并利用最小二乘法拟合出特殊路面的路面谱。

1 路面谱模型建立

据相关研究表明,路面不平度具有随机、平稳和各态历经的特性,可以用平稳随机过程理论来分析描述。道路不平度可由基于路面不平度系数 $G_d(n_0)$ 拟合的功率谱密度(PSD)来评价^[1],进而利用统计参数所描述的路面谱进行道路模拟、舒适性及疲劳寿命等研究。

作为车辆振动试验输入信号,路面不平度的统计特性主要采用位移功率谱密度来描述,其一般的拟合公式为:

$$G_d(n) = G_d(n_0) \left(\frac{n}{n_0} \right)^{-w} \quad (1)$$

式中: n 为空间频率, m^{-1} ; n_0 为参考空间频率, $n_0 = 0.1 \text{ m}^{-1}$; $G_d(n_0)$ 为路面不平度系数, m^2/m^{-1} ; w 为拟合功率谱密度的指数。

GB/T 7031—2005 根据路面功率谱密度把路面按不平度分为 8 级,并将路面等级绘于位移 PSD 图上,如图 1 所示。

2 路面谱测试技术

2.1 特殊路面谱假设

依据位移功率谱密度的拟合公式来推导履带车辆特殊路面的路面谱,履带车辆由履带沿路面为负重轮提供行驶的轨道。根据研究需要,所生成路面谱过程可假设为:

1) 履带在行驶中根据路面的起伏完全贴伏在路面上,从而履带的平度可近似认为是路面的平度。

2) 履带简化为无质量、连续的柔软带子,忽略履带板连接处不平所引起的激励^[2]。

3) 测试路段内车辆匀速行驶,计算出的平均速

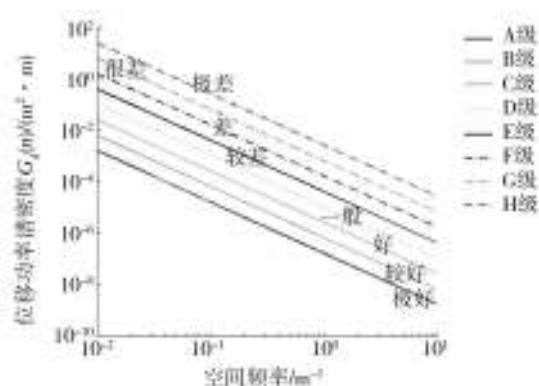


图1 国家标准公路路面平度分级

Fig. 1 Road roughness level of standard highway

度可认为是车辆行驶速度。

4) 忽略负重轮胶圈弹性与阻尼。

2.2 路面谱测试原理

利用加速度法来测试路面谱的原理^[3]:通过测试负重轮轮轴处加速度信号,经傅立叶变换把信号转变为时间频率加速度功率谱密度,再换算成时间频率位移功率谱密度,最后生成空间频率位移功率谱密度,运用最小二乘法拟合可生成标准路面谱。其原理流程如图 2 所示。

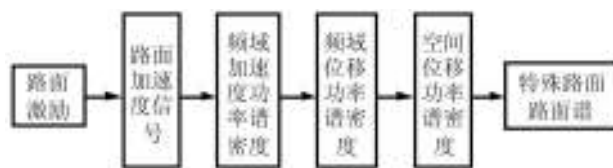


图2 测试原理流程

Fig. 2 Flow diagram of test principle

时间频率与空间频率间的关系表达式为: $f=n \cdot u$, f 为输入的时间频率(Hz), u 为车辆行驶速度(m/s)。则可得到下式:

$$G_d(f) = \frac{1}{u} G_d(n) \quad (2)$$

将式(2)代入下式:

$$G_a(n) = (2\pi n)^4 \cdot G_d(n) \quad (3)$$

从而可推导出:

$$G_d(n) = \frac{G_a(f)}{(2\pi n)^4 u^3} = \frac{u}{(2\pi f)^4} G_a(f) \quad (4)$$

式中: $G_a(f)$, $G_a(n)$ 分别为时间频率与空间频率

加速度功率谱密度; $G_a(f)$, $G_a(n)$ 分别为时间频率与空间频率位移功率谱密度。

2.3 加速度信号的获取^[5]

若在负重轮轮轴上直接安装加速度传感器,则传感器输出就反映了路面平度所引起的垂直振动。测量加速度信号的具体流程为:路面激励→ICP加速度传感器→JM6260数据采集仪→CF-30车载笔记本电脑。为获得悬挂系统受到的路面激励加速度信号,在履带车辆一侧的第一和第五负重轮轮轴位置安装了加速度传感器。其具体安装位置如图3所示,加速度传感器通过M5螺钉连接在轮轴半圆平台上。其中,半圆凸台通过焊接固定在负重轮轮轴上,保证负重轮轮轴受到的路面激励信号被加速度传感器获取。



图3 加速度传感器的安装

Fig. 3 Acceleration sensor installation

2.4 车速信号的获取

车辆行驶速度在测试试验中是一个重要的测量参数。由于某型履带车辆在侧减速器处安装有车速软轴,因此,通过在软轴与车速表接头之间设计连接装置,车辆行驶时驾驶员既可观察仪表,又可实现车速与信号同步采集。具体如图4所示,连接装置中心转轴连接软轴芯,壳体中间安装电磁式脉冲传感器,再通过频率信号变送器,生成0~5 V电压信号后进入数据采集仪,实现车速同步采集监测。

3 实车测试与分析

为了验证加速度法测试履带车辆路面谱方法的可行性,选取长度4 m的长波路、5 cm搓板路及越



图4 车速传感器连接装置

Fig. 4 Connection devices of vehicle speed sensor

野路面作为特殊路面进行实车试验,如图5所示。履带车辆分别以不同速度行驶,对第一、五负重轮轴处的加速度进行测试,信号采样频率为1000 Hz。



图5 履带车辆越野路面测试

Fig. 5 Tracked vehicle test on cross-country road

3.1 长波路路面谱测试与分析

图6是当车速为10 km/h时,第一、五负重轮在铺有履带的长波路上行驶时的加速度变化曲线。可以看出,振动曲线具有一定规律性,而此规律变化正好体现长波路面的规律性。图7为根据第一负重轮加速度变化曲线生成的路面位移功率谱密度,图中直线即为拟合后得出的标准路面谱,同时经计算可知,路面不平度系数 $G_a(n_0)=29.394$,拟合功率谱密度指数 $w=5.3944$ 。图8为根据第五负重轮加速度变化曲线生成的路面位移功率谱密度,图中直线即为拟合后得出的标准路面谱,同时经计算可知,路面不平度系数 $G_a(n_0)=43.331$,拟合功率谱密度指数 $w=5.4744$ 。

3.2 越野路路面谱测试与分析

图9是当车速为10 km/h时,第一、五负重轮在

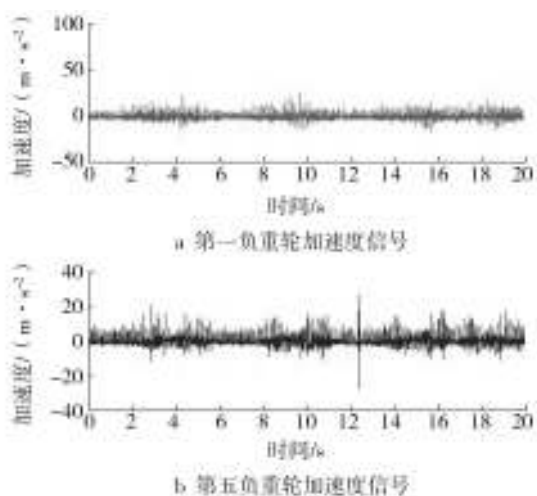


图6 4 m长波路加速度时域曲线
Fig. 6 Long-wave road acceleration curve

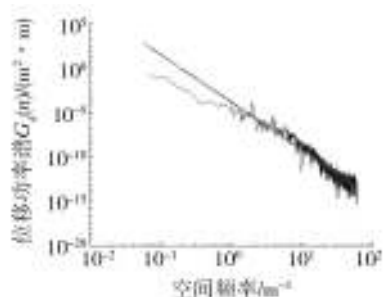


图7 第一负重轮4 m长波路路面谱
Fig. 7 Long-wave road PSD of first loading wheel

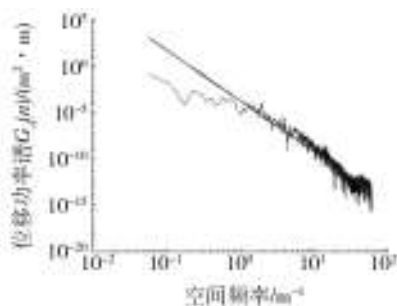


图8 第五负重轮4 m长波路路面谱
Fig. 8 Long wave road PSD of 5th loading wheel

铺有履带的越野路上行驶时的加速度变化曲线,可以看出,振动曲线并未体现出一定的规律性,而此变化正好说明越野路面的随机特性。图10为根据第一负重轮加速度变化曲线生成的路面位移功率谱密度,图中直线即为拟合后得出的标准路面谱,同时经

计算可知,路面不平度系数 $G_d(n_0)=429.4$,拟合功率谱密度指数 $w=5.3612$ 。图11为根据第五负重轮加速度变化曲线生成的路面位移功率谱密度,图中直线即为拟合后得出的标准路面谱,同时经计算可知,路面不平度系数 $G_d(n_0)=186.3$,拟合功率谱密度指数 $w=5.1365$ 。

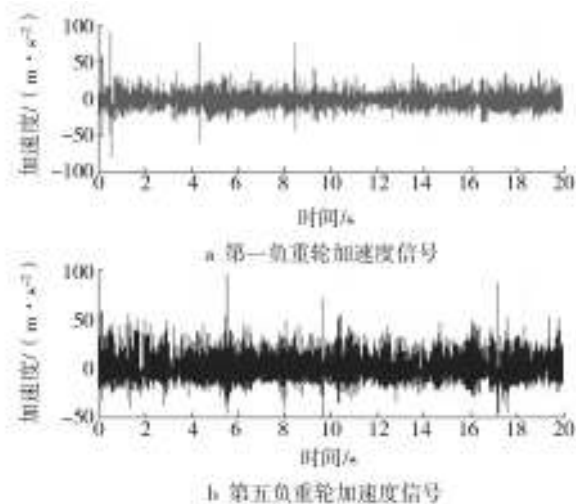


图9 越野路加速度时域曲线
Fig. 9 Cross-country road acceleration curve

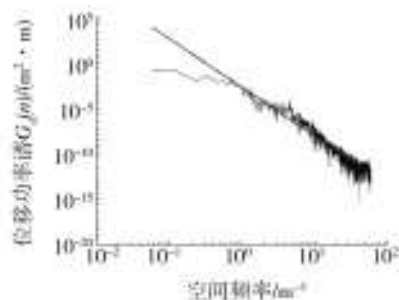


图10 第一负重轮越野土路路面谱
Fig. 10 Cross-country road PSD of first loading wheel

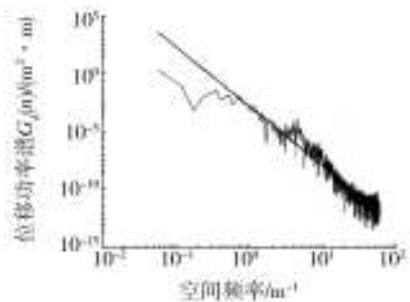


图11 第五负重轮越野土路路面谱
Fig. 11 Cross-country road PSD of 5th loading wheel

4 结论

根据 GB/T 7031—2005 建立履带车辆特殊路面的路面谱模型,确立了运用负重轮轮轴加速度的振动变化来分析测试履带车辆路面谱的基本原理,为此设计了一套专门的测试系统并进行不同特殊路面的实车测试,利用 Matlab 分析软件生成位移功率谱密度,拟合出标准路面谱并计算出特征值。经多次路面测试,试验结果给出的特征值能够正确反映特殊路面的变化规律,并可作为仿真路面激励的基本依据。

参考文献:

- [1] GB/T 7031—2005, 机械振动 道路路面谱测量数据报告 [S].
- [2] 丁法乾. 履带式装甲车辆悬挂系统动力学[M]. 北京:国防工业出版社,2004.
- [3] 明波,杨洁,贾进峰. 基于三维路面谱仿真履带车辆振动系统的动态模拟[J]. 装备环境工程,2011,8(2):85—88.
- [4] 贾进峰,张进秋,张建,等. 基于路面谱随机激励的履带车辆舒适性仿真研究[J]. 系统仿真学报,2012,24(6):1350—1354.
- [5] 邢志,吕建刚,李猛,等. 履带式车辆路面反应谱测试的可行性研究[J]. 探测与控制学报,2006,28(1):32—36.

(上接第8页)

3 试验结果分析

载人航天工程一期和二期9艘各型载人航天器共选择136台电子产品开展综合环境应力试验,其中共有17台产品在综合环境应力试验中出现各类故障,占到参试产品总数的12.5%。其中,典型故障包括:

1) 印制电路板制造不合格。综合环境应力试验中,多台产品由于印制电路板制造不合理,存在虚焊、虚接或元器件管脚焊接不到位等问题,在温度和随机振动应力环境综合作用下制造缺陷得以暴露。

2) 材料选用不当。通过试验发现,某些产品选用材料不当,如硅橡胶类非金属材料,受热胀冷缩影响较大。在交变环境中材料产生附加应力或变形,可能导致其包裹的导线断裂或与其他元器件搭接,从而引发产品故障。

3) 交变温湿环境不适应。在交变的高温高湿环境,某些产品表面涂层不能耐受,出现大面积脱落现象,需要改进涂层加工工艺。某些产品接插件设计存在缺陷,低温结露后产生短接,导致产品性能出现异常。

由于综合环境应力试验是在产品完成例行的鉴

定级环境试验后进行的,通过此项试验,进一步发现了产品在设计、加工等方面的缺陷,避免了这些存在缺陷的产品参加飞行试验任务,并通过后续纠正措施提高了产品的可靠性。

4 结语

载人航天器选择关键电子产品参加温度、湿度、随机振动以及电应力综合环境应力试验,并根据任务特点和考核需要设计试验程序。

载人航天工程一期和二期,通过综合环境应力试验,能够发现多台关键电子产品常规环境试验项目难以暴露的缺陷,据此改进设计以及制造工艺,提高了产品的可靠性,有力地保障了飞行试验任务的成功。

参考文献:

- [1] 林震,张爱民. 综合环境应力试验初探[J]. 环境技术,2002(3):1—4.
- [2] 张伟. 温、湿、振三综合环境试验技术的应用[J]. 电子产品可靠性与环境试验,2004(6):38—41.
- [3] 陈万创. 捷联惯性测量装置的综合环境应力可靠性试验[J]. 上海航天,2004(1):58—61.