

履带车辆平台模拟试验谱的建立方法研究与应用

舒畅, 朱玉琴, 杨万均

(西南技术工程研究所, 重庆 400039)

摘要: 目的 建立模拟试验谱推导方法,合理确定车载仪器设备模拟振动试验条件。方法 针对履带车辆平台诱发环境实测振动数据,通过履带车辆实测振动谱环境特征分析,提出宽带随机振动背景谱叠加窄带分量作为模拟试验谱的基本谱形,并探讨相应试验量级和试验时间的推导方法。结果 建立了由实测振动数据推导模拟试验谱的方法。结论 模拟试验谱推导方法实用性强,依据此方法由某履带车辆实测数据得到了相应的模拟试验谱。

关键词: 履带车辆平台; 实测振动数据; 模拟试验谱

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2014.02.004

中图分类号: U492.8 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2014)02-0015-05

Study and Application of the Method Deducing the Simulating Test Spectrum from Measured Data of Tracked Vehicle

SHU Chang, ZHU Yu-qin, YANG Wan-jun

(Southwest Technology and Engineering Research Institute, Chongqing 400039, China)

ABSTRACT: Objective To establish the method inducing simulating test spectrum, in order to reasonably determine the simulated vibration test conditions of vehicle equipment. **Methods** Based on the measured vibration data of tracked vehicles induced environment, the environment description of measured vibration spectrum was analyzed, narrow bands on broadband random was introduced as the basic spectrum of simulating test spectrum, and the method of inducing test level and test duration was studied. **Results** The method inducing simulating test spectrum from the measured vibration data was established. **Conclusion** The method deducing the simulating test spectrum was practical. Based on the method, corresponding simulating test spectrum was induced by measured data of tracked vehicle.

KEY WORDS: tracked vehicle; measured vibration data; simulating test spectrum

收稿日期: 2013-11-17; 修订日期: 2013-12-18

Received: 2013-11-17; Revised: 2013-12-18

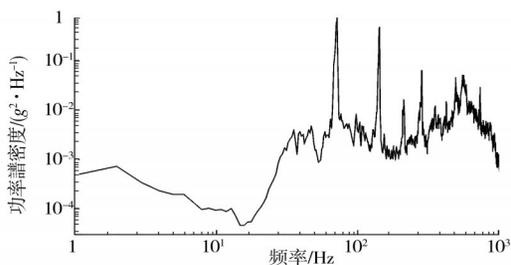
作者简介: 舒畅(1982—),女,重庆人,硕士,工程师,主要研究方向为装备环境工程。

Biography: SHU Chang(1982—), Female, from Chongqing, Master, Engineer, Research focus: equipment environmental engineering.

实验室振动模拟试验是考核产品抗振能力、安全性和可靠性的重要手段,其目的是使被试产品经受与实际振动环境相当的振动模拟试验谱的考验。为避免欠试验和过试验的现象发生,根据实测振动数据推导的模拟试验谱开展实验室模拟振动环境试验越来越受到重视。英国国防标准 DEF STAN 00-35(第4版)中第5部分——诱发机械环境中明确规定了应优先选用根据实测振动数据确定的模拟试验谱开展振动环境试验^[1],我国 GJB 150.16 和其修订版 GJB 150.16A 均规定“应尽可能用实测数据和装备实际寿命周期的持续时间来制定装备设计规范和试验条件”^[2-3]。GJB 150 和 GJB 150A 均没有介绍根据实测振动数据推导模拟试验谱的方法,相关的报道在国内也较少。朱玉琴等人^[4]研究了装甲车辆平台诱发振动数据处理技术,但未将实测数据转化为模拟试验谱开展模拟试验。穆立茂等人^[5]研究了车载物资振动环境谱的数据处理或归纳。姚国年等人^[6]在此基础上,根据实测数据确定了特种产品运输模拟试验规范谱。文中在综合了大量文献资料和标准规范的基础上,针对履带车辆平台振动实测数据,对推导实验室模拟试验谱的方法进行了研究,建立了宽带随机振动背景谱图叠加窄带分量的模拟试验谱,推导了试验量级和试验时间。

1 基本原理

履带车辆平台诱发环境实测振动数据的振动功率谱表现为宽带随机分量上叠加一些高而窄的尖峰,如图1所示。宽带随机分量主要是负重轮在履



注1:履带车辆的速度为40 km/h;
注2:测量部位及方向为驾驶舱仪表盘X轴;
注3:行驶路面为铺装路面。

图1 履带车辆实测振动功率谱

Fig.1 Measured PSD curve of tracked vehicle

带上滚动,履带板之间相互作用以及发动机、变速箱等其它振源综合效应的结果,而履带拍击路面的冲击作用在车体上主要以窄带分量的形式表现出来。根据实测谱的这一特征,可以采用宽带随机背景谱图叠加窄带分量来建立履带车辆平台的模拟振动试验谱。

2 模拟试验谱的建立

2.1 实测振动数据

实测振动数据是模拟试验谱建立的基础资源,由于实测振动数据样本种类和数量有限,因此需对数据来源、平台状态、测试条件等进行综合考虑。

选取的实测振动数据样本需要具有典型代表性及覆盖全面性。针对特定车型,应选取不同路面类型、行驶速度、测点位置的实测振动数据样本。实测振动数据样本还应经过周期性、平稳性和正态性检验,最终确定用于推导模拟试验谱的实测振动数据样本应满足非周期性、平稳性和正态性的要求。

2.2 模拟试验谱相关参数的确定

无论针对何种产品,试验人员均需确定试验量级和试验时间才能开展振动环境试验。综合考虑实验室振动试验与实测状态之间可能存在的差异,文中从试验量级、试验时间和试验条件系数等3个方面建立模拟试验谱。

2.2.1 试验量级的确定

对实测振动数据进行功率谱密度分析,识别宽带分量和窄带分量,建立模拟试验谱的宽带随机振动背景谱图和需叠加的窄带分量。

宽带随机振动背景谱图的建立共有以下6个步骤。

1)绘制 PSD 曲线:在实测数据样本分析、检验、处理的基础上,绘制所研究特种产品速度范围内每个实测速度时的振动幅值(g^2/Hz)对频率的功率谱密度(PSD)曲线图。

2)实测数据的归纳:对应于每个测试位置,将每种路面类型每个实测速度的多个实测振动数据样本的 PSD 曲线归纳成一条 PSD 曲线。

3)窄带分量的识别与剔除:对应于每种路面类

型的每一个速度值,识别需单独处理的主要窄带分量,然后剔除需单独处理的窄带分量。

4)绘制PSD曲线的包络线:剔除窄带分量后,对应于每种路面类型的每一个速度值,绘制功率谱密度(PSD)曲线的包络线。

5)绘制所有路面类型、所有速度下PSD包络线的叠加图,以及叠加图的包络线。

6)振动规范谱的估计:参照GJB/Z 126—99《振动、冲击环境测量数据归纳方法》中5.1.3条,对得到的PSD包络线进行频段划分,然后用统计容差法对频段内PSD平直谱进行估计,得到宽带随机振动规范谱 G_k ^[7]。在频段划分时,频段的转折点以10~50个为宜。在确定转折点的数量时,不应由于规范谱的移动或转折点数量而导致宽带总均方根值增加或减小10%以上。

通过以上步骤获得的宽带随机振动规范谱 G_k 便可作为模拟试验谱的背景谱图。

窄带分量的识别与确定。履带车辆平台诱发环境在行驶中会产生一系列不连续频率窄带随机振动,这些窄带随机振动的频率随车速变化而变化,它是履带拍击的基本频率及其谐波。若已知履带间距(λ),在某一给定的速度(v)条件下,可以计算履带拍击地面的频率,计算公式如式(1)所示。

基本频率为:

$$f_0 = \frac{1}{T} = \frac{1}{\lambda/V} \quad (1)$$

第1谐波: $f_1=2f_0$;第2谐波: $f_2=3f_0$ 。

例如:若履带间距为15 cm,车辆行驶速度为40 km/h,则履带拍击地面的基本频率、第1谐波和第2谐波的频率分别为72, 143, 215 Hz。

在开展模拟振动试验时,窄带分量可以窄带随机扫描、窄带正弦扫描、二级正弦扫描、窄带尖峰振动等多种方式叠加在宽带随机振动上,不同叠加方式的窄带分量确定方法不同,文中介绍以窄带随机扫描或窄带正弦扫描的方式叠加时,窄带分量的确定方法。

对实测数据开展幅值概率分析,检验数据的正态分布,记录实测数据的幅值,根据所有实测数据幅值的峰值(gpk)计算履带拍击分量的幅值,并将其转化为窄带随机分量,转化公式如下^[1]:

$$G_z = \left[\frac{gpk^2}{\sqrt{2}} \right] \times \frac{1}{B} \quad (2)$$

式中: G_z 为窄带随机分量的试验强度, g^2/Hz ;gpk为所有实测数据幅值的峰值, g ;B为窄带的带宽(如5, 10或15 Hz,根据工作状态决定)。

2.2.2 试验时间的确定

试验时间应该根据车载装备的寿命和履带车辆的使用剖面来确定。为了避免过试验,通常使用如米勒(miner)法则这样的等效疲劳损伤规则,将所有的试验强度规范到最高的实测振动强度,其计算公式如(3)所示,再将各种路面各种车速的等效试验时间叠加,得到总的试验时间。

$$t_2 = t_1 (S_1/S_2)^n \quad (3)$$

式中: t_1 为各种路面各种速度下的实际行驶时间; t_2 为与试验强度等效的试验时间; S_1 为实测振动谱的均方根(rms)或功率谱密度(PSD)值; S_2 为试验振动谱的均方根(rms)或功率谱密度(PSD)值; n 为损坏等效指数,当使用均方根值(rms)时, n =损坏等效指数,若 S 为均方根时, n 通常为2.5~4,若 S 为功率谱密度时, n 通常为5~8。

计算试验时间时,应同时考虑宽带分量和窄带分量的试验时间,且3个轴向的试验时间应分开计算。如宽带分量的试验时间与窄带分量的试验时间不吻合,一般情况下,应对宽带随机振动的量级进行调整。当计算所得的宽带随机振动的试验时间长于窄带分量的试验时间时,应提高宽带随机振动的试验量级,反之则应降低宽带随机振动的试验量级。

2.2.3 试验条件系数的确定

由于实测数据量不可能无穷大,从实测数据推导实验室模拟试验谱时,有可能存在着不能真实反映产品在实际使用过程中可能遇到的真实振动量值,因此,在建立模拟试验谱时,应根据实际情况估计载荷分散系数、安全系数和试验量值因子等试验条件系数。

3 模拟试验谱的应用

3.1 履带车辆平台诱发环境振动数据的实测情况

参照GJB 59.15《装甲车辆试验规程 野外振动试验》中有关规定采集某型履带车辆驾驶舱仪表板的实际振动数据,试验路面为铺筑路面、比利时路面

和乡村土路,试验车速为 10, 20, 30, 40, 50 km/h, 测量方向为 X, Y, Z 等 3 个方向。测试所得的原始数据按测试时间、测试路面及测速分类存储。对实测数据预处理和检验后,选取了 34 个实测数据样本,对同一速度下的实测数据样本进行归纳合并,形成最终的实测数据样本集,见表 1。

表 1 实测振动数据样本集

Table 1 Sample sets of measured vibration data

测点位置	路面类型	行驶速度/(km·h ⁻¹)
	铺装路面	10, 20, 30, 40, 50
	乡村土路	10, 20, 30, 40
驾驶舱仪表盘	比利时路面	10

3.2 试验量级的确定

对应于每种路面每个速度的 PSD 曲线,识别并剔除窄带分量。履带车辆在铺装路面上以 40 km/h 行驶时驾驶舱仪表盘 X 轴的 PSD 曲线如图 1 所示,从中可以轻易地识别出窄带分量数据。这些窄带分量的频率为 71, 142, 213, 284 Hz,它是履带拍击的基本频率及其谐波。剔除这些窄带分量,绘制同种路面

同种速度下多个样本的 PSD 曲线及其包络线。

针对表 1 中实测数据样本,绘制所有路面类型所有速度下 PSD 包络线的叠加图,以及叠加图的包络线,参照 GJB 126-99 估计宽带随机振动规范谱,并将其作为宽带随机背景谱图。履带车辆驾驶舱仪表盘 X 轴所有路面类型所有速度下 PSD 包络线和规范谱如图 2 所示。

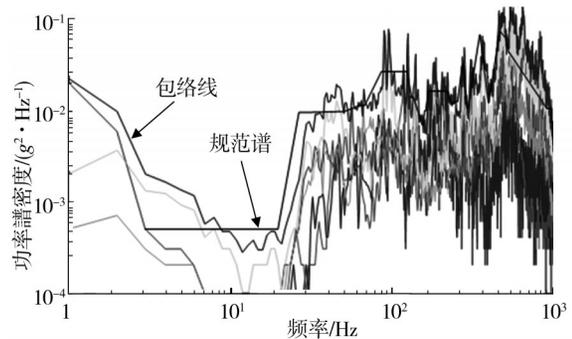


图 2 履带车辆驾驶舱仪表盘 X 轴的实测数据、包络线和规范谱

Fig.2 Measured PSD curve, envelope curve and norm spectrum of cockpit instrument panel X-axis of tracked vehicle

对表 1 中的实测数据样本开展幅值概率分析,检验数据的正态分布,记录实测数据的最大幅值,并按公式(2)计算窄带分量的试验强度。履带车辆驾驶舱仪表盘 X 轴的窄带分量试验强度见表 2。

表 2 履带车辆驾驶舱仪表盘 X 轴的窄带分量试验强度

Table 2 Test intensity of narrowband of cockpit instrument panel X-axis of tracked vehicle

履带拍击顺序	扫描范围/Hz	窄带随机		正弦 (g 峰值)	宽带随机 (g rms)	总的试验量级 (g rms)
		带宽/Hz	功率谱密度/ (g ² ·Hz ⁻¹)			
f ₀	10~140	5	1.14	3.38		
f ₁	20~280	10	0.40	2.83	5.79	6.67
f ₂	30~420	15	0.07	1.47		

以图 2 中的规范谱为宽带随机背景谱图,叠加表 2 所示的窄带分量,组成了履带车驾驶舱仪表盘 X 轴的模拟试验谱。

3.3 试验时间的确定

根据履带车辆的使用剖面确定等效试验时间,

表3 等效试验时间计算示例
Table 3 Examples of equivalent test time calculation

路面	速度/(km·h ⁻¹)	时间/min	实测谱的总 rms	等效试验时间/min
铺筑路面	20	18	2.1862	0.12
铺筑路面	30	8	3.6418	1.38
铺筑路面	40	4	4.8732	4.02
乡村土路	20	15	0.7599	0
乡村土路	30	9	1.9885	0.06
乡村土路	40	6	2.2114	0.06
不平路面	10	3	2.3212	0
共计		60		5.64

表3给出了相应的示例。

根据表3所示,安装于驾驶舱仪表盘的车载设备的X轴开展模拟振动试验时,5.64 min的试验时间等同于履带车辆在实际跑车中60 min的振动。

4 结语

文中针对履带车辆平台诱发环境实测振动数据,开展了由实测数据推导模拟试验谱的方法研究,建立了以宽带随机振动背景谱叠加窄带分量为基本谱形的模拟试验谱推导方法,为合理确定车载仪器设备振动试验条件提供了技术条件。依据此方法,由某履带车辆实测振动数据推导得到了相应的模拟试验谱,根据此模拟试验谱开展针对环境试验,更为符合客观条件,有效避免了欠试验和过试验,具有较好的工程应用价值。

参考文献:

- [1] UK Defence Standardization. Defence Standard 00-35 Environmental Handbook for Defence Materiel(Issue 4)[S].
- [2] GJB 150.16—86,军用设备环境试验方法 第16部分:振动试验[S].
GJB 150.16—86, Environmental Test Method for Military Equipments Part 16: Vibration Test[S].
- [3] GJB 150.16A—2009,军用装备实验室环境试验方法 第

16部分:振动试验[S].

GJB 150.16A—2009, Military Equipment Laboratory Environmental Test Methods Part 16: Vibration Test[S].

- [4] 朱玉琴,肖勇,苏艳.装甲车辆平台诱发振动数据处理技术与应用研究[J].装备环境工程,2013,10(3):72—76.
ZHU Yu-qin, XIAO Yong, SU Yan. Vibration Data Processing of Armed Vehicle Platform Induced Environmental and Its Application[J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(3): 72—76.
- [5] 穆立茂,黄海英,张靖,等.车载物资振动环境谱的数据处理与归纳[J].装备环境工程,2010,7(1):75—77.
MU Li-mao, HUANG Hai-ying, ZHANG Jing, et al. Data Processing and Induction of Vibration Environmental Spectrum for Commodity Carried on Truck[J]. Equipment Environmental Engineering, 2010, 7(1): 75—77.
- [6] 姚国年,黄海英,王丽娟,等.由实测数据确定特种产品运输模拟试验规范谱[J].振动、测试与诊断,2010,30(5):577—580.
YAO Guo-nian, HUANG Hai-ying, WANG Li-juan, et al. Criterion Spectra of Simulation Experiment for Special Product Transport Using Measured Data[J]. Journal of Vibration, Measurement & Diagnosis, 2010, 30(5): 577—580.
- [7] GJB/Z 126—1999,振动、冲击环境测量数据归纳方法[S].
GJB/Z 126—1999, The Inductive Methods for Environmental Measured Data of Vibration and Shock[S].