

利用汽车垂直振动加速度判别路面等级的方法

汪铸, 帅克, 钱明军

(总装备部汽车试验场, 210016, 南京)

[摘要] 给出以汽车垂直振动加速度作为输入信号, 路面不平度作为输出的数学模型及其模拟图, 并依据道路分类标准做出利用路面的空间谱密度与空间频率的关系划分路面等级区域图, 藉此可根据汽车垂直振动加速度判断出路面的等级.

[关键词] 汽车, 路面不平度, 振动加速度, 谱密度

[中图分类号]U412. 36⁺ 3, [文献标识码]A, [文章编号]1672- 1292(2003)03- 0063- 03

0 引言

汽车行驶时, 路面的不平度会激起汽车的振动, 当这种振动达到一定程度时, 将使乘客感到不舒服, 或使所运载的货物受损. 同时, 路面激起的振动会缩短汽车的寿命及汽车与地面的附着效果. 因此, 分析汽车振动与路面的不平度的关系具有很重要的意义, 以此进行频谱分析可以得到路面的功率谱, 并可利用功率谱确定路面等级; 在汽车专用试验道路上, 可通过采集汽车垂直振动加速度获得路面功率谱, 从而监控试验路面的稳定性. 本文利用在试验车辆前后桥上安装加速度传感器的方式测量车辆行驶时车桥的垂直加速度, 并以此作为仿真模型的输入信号, 得到路面不平度的信号及功率谱, 藉此判断路面不平度等级.

1 数学模型的建立

文献[1] 给出, 当双轴汽车 4 个自由度的振动模型质量分配系数接近于 1 时, 前、后悬挂系统的垂直振动几乎是独立的, 于是可以简化为两个自由度的振动系统, 如图 1 所示.



图1 车身与车轮两个自由度的汽车振动模型

图中: M 为悬挂质量(即车身质量); m 为非悬挂质量(即车轮质量) C 为悬架弹簧刚度; k 为阻尼器阻尼系数; C_t 为轮胎刚度; $z(t)$, $\xi(t)$, $q(t)$ 为车身、车桥(轮胎)、路面的纵向位移.
 z 和 ξ 为系统的独立坐标, 坐标原点选在各自的平衡位置.

依据文献[1], 运动方程为:

$$Mz''(t)+k[z'(t)-\xi'(t)]+C[z(t)-\xi(t)]=0$$

$$m\xi''(t)-k[z'(t)-\xi'(t)]-C[z(t)-\xi(t)]+C_t\xi(t)=C_tq(t)$$

而测得垂直振动加速度:

$$x(t) = \xi''(t) \quad (3)$$

对(1)、(2)、(3)进行拉氏变换, 设:

$$\begin{aligned} z(t) &\leftrightarrow Z(s), x(t) \leftrightarrow X(s), \xi(t) \leftrightarrow \xi(s), q(t) \leftrightarrow Q(s) \\ \text{可得} \quad &\begin{cases} Ms^2 Z(s) + ks[Z(s) - \xi(s)] + C[Z(s) - \xi(s)] = 0 \\ ms\xi(s) - ks[Z(s) - \xi(s)] - C[Z(s) - \xi(s)] + C_t \xi(s) = C_t Q(s) \\ X(s) = s^2 \xi(s) \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

实际测量中, 通常将加速度传感器装在车辆前后桥上, 因为板簧因素的影响, 车桥的振动加速度与悬架的垂直振动加速度相比更能反映路面的不平度情况, 为此消去 $Z(s)$. 用加速度 $x(t)$ 代替垂直位移, 可得系统传递函数:

$$H(s) = \frac{Q(s)}{X(s)} = \frac{s^3(mM + kM) + s^2(MC + MC_t + km) + s(kC_t + mC) + CC_t}{MC_t s^4 + kC_t s^3 + CC_t s^2} \quad (5)$$

令: $a_4 = MC_t$, $a_3 = KC_t$, $a_2 = C \cdot C_t$

$$b_3 = mM + kM, b_2 = MC + MC_t + km, b_1 = kC_t + mC, b_0 = C \cdot C_t$$

则可得以 $x(t)$ 为输入, $q(t)$ 为输出的系统数学模型:

$$a_4 q^{(4)}(t) + a_3 q^{(3)}(t) + a_2 q''(t) = b_3 x^{(3)}(t) + b_2 x''(t) + b_1 x'(t) + b_0 x(t) \quad (6)$$

其模拟图如图2所示.

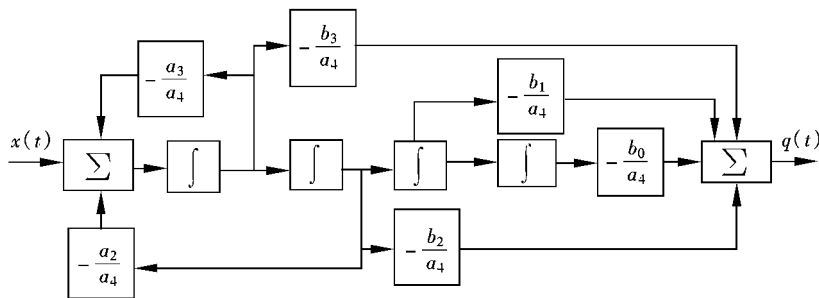


图2 系统模拟图

2 判别方法

在实际路面上进行不平度试验测量时, 将加速度传感器分别安装在汽车前后桥上, 因此可得两组路面不平度曲线 $q_1(t)$ 、 $q_2(t)$, 依据文献[1], 在一定车距 L 下, 车速为 V 时, 前后桥处所得的道路不平度函数相差一个滞后时间 Δt , 即 $\Delta t = L/V$, 则 $q_1(t) = q_2(t + \Delta t)$, 假定汽车保持匀速 V , 取其均方根值:

$$q(t) = \sqrt{q_1(t) \cdot q_2(t + L/V)} \quad (7)$$

设 $q_1(t)$ 的功率谱为 $S_q(f)$ 即时间谱密度函数, 假定测试汽车保持匀速 $V = 10 \text{ m/s}$ 的速度行驶, 利用空间谱密度函数 $S_q(\Omega)$ 与时间谱密度函数 $S_q(f)$ 的换算公式有:

$$S_q(f) = \frac{1}{V} S_q(\Omega) = 10^{-1} \cdot S_q(\Omega) \quad (8)$$

根据国际标准协会采纳的英国 MIRA 推荐以功率谱进行道路分类的标准 ISO SC2/WG4, 路面不平度的空间谱密度函数 $S_q(\Omega)$ 为:

$$\begin{cases} S_q(\Omega) = S_q(\Omega_0) \left(\frac{\Omega}{\Omega_0} \right)^{-w_1} & \Omega \leq \Omega_0 \\ S_q(\Omega) = S_q(\Omega_0) \left(\frac{\Omega}{\Omega_0} \right)^{-w_2} & \Omega > \Omega_0 \end{cases} \quad (9)$$

式中: Ω 为空间频率 (c/m); $\Omega_0 = 0.16$ 标准空间频率 (c/m); w_1, w_2 为高低频段频率指数; $S_q(\Omega_0)$ 为标准

空间频率 Ω_0 所对应的功率谱密度, $10^{-6}(\text{m}^2/\text{c}/\text{m})$.

表 1 即为 ISO SC2/ WG4 道路的五级分类标准各级的 $S_q(\Omega_0)$ 和 w_1, w_2 数值:

表 1 道路不平度五级分类标准

道路分类	$S_q(\Omega_0)$ 的范围	$S_q(\Omega_0)$ 的几何平均值	w_1	w_2
A 极好	2~ 8	4	2	1.5
B 好	8~ 32	16	2	1.5
C 一般	32~ 128	64	2	1.5
D 坏	128~ 512	256	2	1.5
E 极坏	512~ 2048	1024	2	1.5

根据表 1 和式 (9) 利用 MATLAB 可得依据 $\lg[S_q(\Omega)] \sim \Omega$ 关系划分路面等级区域如图 3 所示, 图中: A、B、C、D、E 5 个区域与表中的道路级别分类相对应.

根据式(8)可得:

$$\lg[S_q(\Omega)] = \lg[S_q(f)] + 1 \tag{10}$$

因此, 在实际应用中, 测得路面不平度信号 $q(t)$, 即可得到其相应的时间谱密度 $S_q(f)$, 利用公式(10)可作出此路面的空间谱密度与空间频率的关系曲线, 并依据它在图 3 中所处区域判断出路面的等级.

3 结论

本文首先通过对汽车垂直振动加速度与路面不平度关系分析, 进行建模, 然后依据道路分类标准 ISO SC2/ WG4 作出利用路面的空间谱密度与空间频率的关系划分路面等级区域图. 这样, 通过测量汽车垂直振动加速度, 得到路面不平度函数, 再将时间功率谱转换为空间功率谱, 根据它在区域图中所处位置判断出路面的等级, 藉此, 可监控汽车可靠性行驶试验道路路面参数的变化.

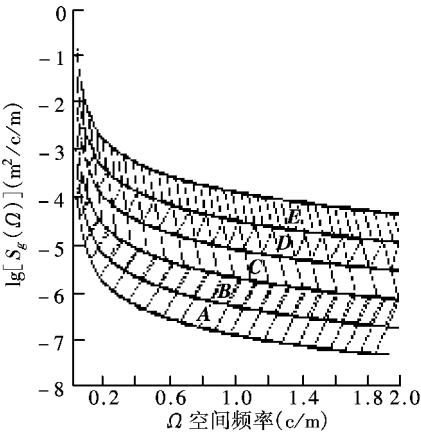


图 3 依据 $\lg[S_q(\Omega)] \sim \Omega$ 关系划分路面等级区域图

[参考文献]

[1] 余志生. 汽车理论[M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.
[2] 张志涌. 掌握和精通 MATLAB5. 1[M]. 北京: 航空航天大学出版社, 1997.
[3] 胡宗武. 工程振动分析基础[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1999.
[4] [英] D. E. 纽兰. 随机振动与谱分析概论[M]. 方同等译, 北京: 机械工业出版社, 190.

Evaluation of Road Level Based on Vertical Vibrational Acceleration of vehicle

Wang Zhu, Shuai Ke, Qian Ming Jun

(Automobil Proving Groud of General Equipment Department, PLA, 210028, Nanjing, PRC)

Abstract: This paper gives a model and the simulating graph of road uneven degree, which is based on the vertical vibrational acceleration of the vehicle. The power spectrum has been analysed and the grade of the road can be evaluated according to the road grading standards.

Key words: vehicle, road uneven degree, vibration acceleration, spectrum density

[责任编辑: 刘健]