

文章编号:1671-8879(2009)02-0101-06

大型货车对路面的动作用力

郑仲浪,吕彭民

(长安大学 道路施工技术与装备教育部重点实验室,陕西 西安 710064)

摘要:为研究大型载重货车对路面的动作用力,建立了四轴拖挂车动力学模型,以路面随机不平度为激励,研究车辆动载荷和动载系数随路面等级、车速、载质量、轮胎刚度、悬架阻尼和悬架刚度的变化规律。结果表明:如果路面等级下降或车速提高或轮胎刚度增大,拖挂车各轮动载荷都增大;挂车悬架阻尼的减小和悬架刚度的增大都能使挂车各轮动载荷增大,对拖车各轮的动载荷影响则不大;拖车后悬架阻尼的增大能引起拖车后轮动载荷的减小,但拖车后悬架刚度在原取刚度值的 1.5 倍附近时,能使拖车后轮动载荷最小;在模拟中,动载系数和动载系数具有相同的变化规律;而载质量的增加,拖挂车各轮的动载系数变化不大,但动载系数减小,对路面总作用力会逐渐增大。

关键词:机械工程;路面不平度;四轴拖挂车;动载荷;动载系数

中图分类号:U461.1 **文献标志码:**A

Dynamic load of large trucks acting on pavement

ZHENG Zhong-lang, LU Peng-min

(Key Laboratory for Highway Construction Technology and Equipment of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: The 4-axle tractor-trailer model was established to study the vehicle dynamic load that the large trucks act on the pavement. Based on the pavement roughness, the change law of vehicle dynamic road and dynamic load coefficient, which are effected by road ranks, vehicle velocity, weight, tire stiffness, suspension damping and suspension stiffness, were studied. It is found that: when the road rank is degraded or the vehicle speed is higher or the tire stiffness is enhanced, the dynamic load of each wheel is increased; the reduction of the trailer suspension damping or the increase of the trailer suspension stiffness would cause the increase of dynamic load of each trailer wheels, but it has little effect on the tractor wheels; the dynamic load of the rear tractor wheel is increased with the rear tractor suspension damping, when the rear tractor suspension stiffness is near the 1.5 times of the primary value, the dynamic load gets the minimum; the change law of the dynamic load coefficient is as the same as the dynamic load in those cases; when the weight is added, the dynamic load of each wheel has a little changed, and the dynamic load coefficient is declined, but the whole load acting on the pavement is raised. 13 figs, 8 refs.

收稿日期:2008-04-20

基金项目:国家西部交通建设科技项目(2005 318 812 12)

作者简介:郑仲浪(1981-),男,福建永定人,工学博士研究生,E-mail:zzl_72@hotmail.com。

Key words: mechanical engineering; road roughness; 4-axle tractor-trailer; dynamic load; dynamic load coefficient

0 引言

随着经济的发展,公路交通网致密化,公路交通突出表现为交通量增大,汽车轴数、轴载增加,车速加快。中国的公路交通已经进入重交通阶段,多轴载重汽车占汽车通行量的比例逐年增加^[1]。重载交通被认为是造成路面早期损坏的一个很重要的原因^[2-3],而大型载重货车对路面的破坏远大于其他车辆。在路面动力响应计算中,往往采用恒定的移动载荷或将车辆简化为 2 个自由度的 1/4 模型或 4 个自由度的半车模型进行计算^[4],这与多轴大货车对路面的动作用力差异较大。随着车辆速度的提高和车辆载质量的增大,车辆在运动状态下由于振动所引起的惯性荷载和冲击荷载大大增加。为了能比较准确地模拟大型货车对路面的动作用力,本文建立了 7 个自由度的四轴拖挂车计算模型,采用随机路面谱作为激励,研究各种参数下车辆对路面的动作用力,为路面动态设计提供参考。

1 四轴拖挂车车辆模型的建立

根据车辆的实际结构,建立四轴拖挂车车辆模型如图 1 所示。由于车辆和路面为弱耦合系统^[5-6],仿真时可不考虑动弯沉量对车辆振动的影响。

图 1 中: m_1 、 m_2 均为拖车簧下质量; m_3 、 m_4 均

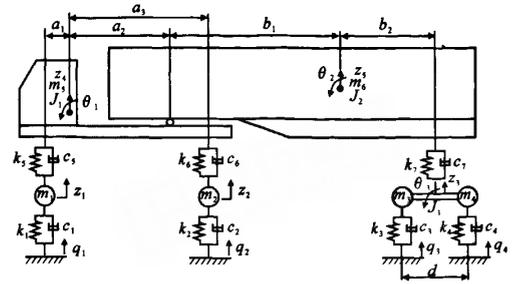


图 1 四轴拖挂车振动模型

为挂车簧下质量; m_5 为拖车簧上质量; m_6 为挂车簧上质量; k_5 、 k_6 、 k_7 均为悬架弹性元件的刚度; c_5 、 c_6 、 c_7 均为悬架阻尼器的阻尼; k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 均为轮胎刚度; c_1 、 c_2 、 c_3 、 c_4 均为轮胎阻尼; J_1 、 J_2 、 J_3 分别为拖车、挂车、平衡悬架的转动惯量; a_1 、 a_2 、 a_3 分别为拖车前轴、铰接点、拖车后轴到拖车质心的距离; b_1 、 b_2 分别为铰接点、挂车平衡悬架中心到挂车质心的距离; d 为平衡悬架长度; q_1 、 q_2 、 q_3 、 q_4 分别为各轮的路面不平度激励; z_1 、 z_2 均为拖车簧下质量的垂向位移; z_3 为挂车簧下质量的垂向位移; z_4 为拖车车身的垂向位移; z_5 为挂车车身的垂向位移; θ_1 、 θ_2 、 θ_3 分别为拖车、挂车、平衡悬架俯仰摆角。

根据 Alembert 原理,车辆振动方程为

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + KX = f(t) \tag{1}$$

式中:

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 + m_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_5 + m_6 & a_2 m_6 & b_1 m_6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_2 m_6 & J_1 + a_2^2 m_6 & a_2 b_1 m_6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & b_1 m_6 & a_2 b_1 m_6 & J_2 + b_1^2 m_6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & J_3 + \frac{1}{4} d^2 (m_3 + m_4) \end{bmatrix};$$

$$C = \begin{bmatrix} c_1 + c_5 & 0 & 0 & -c_5 & a_1 c_5 & 0 & 0 \\ 0 & c_2 + c_6 & 0 & -c_6 & -a_3 c_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_3 + c_4 + c_7 & -c_7 & -a_2 c_7 & -(b_1 + b_2) c_7 & -0.5d(c_3 - c_4) \\ -c_5 & -c_6 & -c_7 & c_5 + c_6 + c_7 & -a_1 c_5 + a_3 c_6 + a_2 c_7 & (b_1 + b_2) c_7 & 0 \\ a_1 c_5 & -a_3 c_6 & -a_2 c_7 & -a_1 c_5 + a_3 c_6 + a_2 c_7 & a_1^2 c_5 + a_3^2 c_6 + a_2^2 c_7 & a_2 (b_1 + b_2) c_7 & 0 \\ 0 & 0 & -(b_1 + b_2) c_7 & (b_1 + b_2) c_7 & a_2 (b_1 + b_2) c_7 & (b_1 + b_2)^2 c_7 & 0 \\ 0 & 0 & -0.5d(c_3 - c_4) & 0 & 0 & 0 & 0.25d^2 (c_3 + c_4) \end{bmatrix};$$

$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_5 & 0 & 0 & -k_5 & a_1 c_5 & 0 & 0 \\ 0 & k_2 + k_6 & 0 & -k_6 & -a_3 k_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_3 + k_4 + k_7 & -k_7 & -a_2 k_7 & -(b_1 + b_2)k_7 & -0.5d(k_3 - k_4) \\ -k_5 & -k_6 & -k_7 & k_5 + k_6 + k_7 & -a_1 k_5 + a_3 k_6 + a_2 k_7 & (b_1 + b_2)k_7 & 0 \\ a_1 k_5 & -a_3 k_6 & -a_2 k_7 & -a_1 k_5 + a_3 k_6 + a_2 k_7 & a_1^2 k_5 + a_2^2 k_6 + a_2^2 k_7 & a_2(b_1 + b_2)k_7 & 0 \\ 0 & 0 & -(b_1 + b_2)k_7 & (b_1 + b_2)k_7 & a_2(b_1 + b_2)k_7 & (b_1 + b_2)^2 k_7 & 0 \\ 0 & 0 & -0.5d(k_3 - k_4) & 0 & 0 & 0 & 0.25d^2(k_3 + k_4) \end{bmatrix};$$

$$X = [z_1 \ z_2 \ z_3 \ z_4 \ \theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3]^T;$$

$$f(t) = \begin{bmatrix} c_1 \dot{q}_1 + k_1 q_1 \\ c_2 \dot{q}_2 + k_2 q_2 \\ c_3 \dot{q}_3 + k_3 q_3 + c_4 \dot{q}_4 + k_4 q_4 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.5d(-c_3 \dot{q}_3 - k_3 q_3 + c_4 \dot{q}_4 + k_4 q_4) \end{bmatrix}.$$

由图 1, 设四轴拖挂车从左到右各轮对路面的附加动载荷随时间的变化分别为 $F_1(t)$ 、 $F_2(t)$ 、 $F_3(t)$ 、 $F_4(t)$, 即

$$F_1(t) = k_1[q_1(t) - z_1(t)] + c_1[\dot{q}_1(t) - \dot{z}_1(t)] \quad (2)$$

$$F_2(t) = k_2[q_2(t) - z_2(t)] + c_2[\dot{q}_2(t) - \dot{z}_2(t)] \quad (3)$$

$$F_3(t) = k_3[q_3(t) - z_3(t) + 0.5d\theta_3(t)] + c_3[\dot{q}_3(t) - \dot{z}_3(t) + 0.5d\dot{\theta}_3(t)] \quad (4)$$

$$D_1 = \frac{F_{j_1} + \sigma_{F_1}}{F_{j_1}} = \frac{[m_1 + a_3/(a_1 + a_3)m_5 + (b_2/(b_1 + b_2))((a_3 - a_2)/(a_1 + a_3))m_6]g + \sigma_{F_1}}{[m_1 + a_3/(a_1 + a_3)m_5 + (b_2/(b_1 + b_2))((a_3 - a_2)/(a_1 + a_3))m_6]g} \quad (7)$$

$$D_2 = \frac{F_{j_2} + \sigma_{F_2}}{F_{j_2}} = \frac{[m_2 + a_1/(a_1 + a_3)m_5 + (b_2/(b_1 + b_2))((a_1 + a_2)/(a_1 + a_3))m_6]g + \sigma_{F_2}}{[m_2 + a_1/(a_1 + a_3)m_5 + (b_2/(b_1 + b_2))((a_1 + a_2)/(a_1 + a_3))m_6]g} \quad (8)$$

$$D_3 = \frac{F_{j_3} + \sigma_{F_3}}{F_{j_3}} = \frac{[m_3 + (b_1/2(b_1 + b_2))m_6]g + \sigma_{F_3}}{[m_3 + (b_1/2(b_1 + b_2))m_6]g} \quad (9)$$

$$D_4 = \frac{F_{j_4} + \sigma_{F_4}}{F_{j_4}} = \frac{[m_4 + (b_1/2(b_1 + b_2))m_6]g + \sigma_{F_4}}{[m_4 + (b_1/2(b_1 + b_2))m_6]g} \quad (10)$$

式中: F_{j_1} 、 F_{j_2} 、 F_{j_3} 、 F_{j_4} 分别为拖挂车从左到右各轮的静轴载; g 为重力加速度。

2 路面随机激励模拟

路面不平度是引起车辆振动的激励源。研究表明, 路面不平度是服从 Gaussian 分布的、具有零均值的均匀随机场, 若转化为随机过程则具有平稳遍历特性。路面不平度的特性可用功率谱密度函数 (PSD) $S_q(\Omega)$ 表示^[7] 为

$$S_q(\Omega) = S_q(\Omega_0) \left(\frac{\Omega}{\Omega_0}\right)^{-w} \quad (11)$$

$$F_4(t) = k_4[q_4(t) - z_3(t) + 0.5d\theta_3(t)] + c_4[\dot{q}_4(t) - \dot{z}_3(t) - 0.5d\dot{\theta}_3(t)] \quad (5)$$

由于 $F_1(t)$ 、 $F_2(t)$ 、 $F_3(t)$ 、 $F_4(t)$ 均为随机载荷, 取各轮胎附加动载荷变化的均方根值 σ_{F_1} 、 σ_{F_2} 、 σ_{F_3} 、 σ_{F_4} 作为各轮的附加动载荷, 则

$$\sigma_{F_1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N F_1^2(t_i)}{N}}, \sigma_{F_2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N F_2^2(t_i)}{N}},$$

$$\sigma_{F_3} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N F_3^2(t_i)}{N}}, \sigma_{F_4} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N F_4^2(t_i)}{N}} \quad (6)$$

式中: N 为采样点数。

拖挂车从左到右各轮的动载系数 D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 分别为

式中: Ω_0 为参考空间频率, $\Omega_0 = 0.1 \text{ m}^{-1}$; w 为频率指数, 一般取 $w = 2$; $S_q(\Omega_0)$ 为参考空间频率下的路面功率谱密度值, 称为路面不平度系数。

对于平稳 Gaussian 随机过程, 有多种方法可以生成路面不平度时域模型^[8]。基于幂函数的 PSD, 可采用谐波叠加法生成随机道路不平度, 所模拟出的路面随机不平度为

$$q(t) = \sum_{i=1}^n \sqrt{2S_q(f_i)\Delta f} \sin(2\pi f_i t + \theta_i) \quad (12)$$

式中: f_i 为时间频率, 与空间频率的关系为 $\Omega = f/v$; v 为车辆行驶速度; Δf 为微小增量; θ_i 为 $[0, 2\pi]$ 上均匀分布的随机数; t 为时间。

3 计算机仿真分析

本文选择 Matlab 软件和 SIMULINK 工具箱作为仿真工具, 对整个系统进行动态仿真分析。选取四轴拖挂车结构参数如下所述。

$m_1 = 400 \text{ kg}; m_2 = 553 \text{ kg}; m_3 = 396 \text{ kg};$
 $m_4 = 396 \text{ kg}; m_5 = 2\,659 \text{ kg}; J_1 = 6\,198 \text{ kg} \cdot \text{m}^2;$
 $m_6 = 12\,460 \text{ kg}; J_2 = 100\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^2; k_1 = 1.03 \times 10^6 \text{ N/m};$
 $c_1 = 3\,000 \text{ Ns/m}; k_2 = 2.06 \times 10^6 \text{ N/m};$
 $c_2 = 3\,000 \text{ Ns/m}; k_3 = 2 \times 10^6 \text{ N/m}; c_3 = 3\,000$
 $\text{Ns/m}; k_4 = 2 \times 10^6 \text{ N/m}; c_4 = 3\,000 \text{ Ns/m}; k_5 =$
 $2.32 \times 10^5 \text{ N/m}; c_5 = 2\,200 \text{ Ns/m}; k_6 = 8.6 \times 10^5$
 $\text{N/m}; c_6 = 10\,000 \text{ Ns/m}; k_7 = 2 \times 10^6 \text{ N/m}; c_7 =$
 $84\,000 \text{ Ns/m}; J_3 = 2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2; a_1 = 0.778 \text{ m}; a_2 =$
 $2.165 \text{ m}; a_3 = 2.712 \text{ m}; b_1 = 4.843 \text{ m}; d = 1.0$
 $\text{m}; b_2 = 2.357 \text{ m}.$

仿真得到四轴拖挂车在不同路面等级、不同车速和不同车辆结构参数下各轮的随机动响应,进而求得各轮均方根动载荷和动载系数。这里仅列举四轴拖挂车以20 m/s(72 km/h)的速度在A级路面上行驶时,拖车后轮的随机动载荷响应如图2所示。

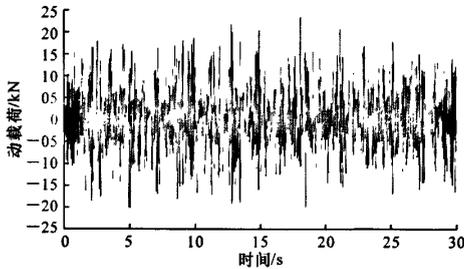


图2 拖车后轮随机动载荷与时间的变化

3.1 路面等级对四轴拖挂车系统响应的影响

四轴拖挂车以20 m/s的速度分别在A、B、C级路面上行驶时,得到车辆各轮均方根动载荷及动载系数与路面等级的关系,如图3、图4所示。

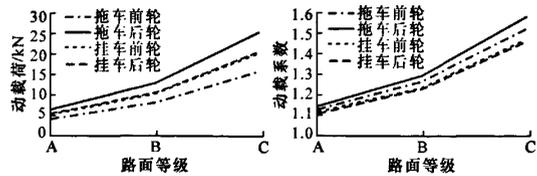


图3 各轮均方根动载荷与路面等级的关系 图4 各轮均方根动载系数与路面等级的关系

由图3、图4可知,随着路面等级从A级到C级的下降,路面不平度加剧,车辆对路面作用的动载荷加大,动载系数增加。路面不平度状况的好坏,对车辆的动载荷大小有很大的影响。因此,建设高等级路面,保证路面的施工质量,是减小车辆动载荷的一个重要途径,同时减小了路面的早期破坏。比较分析可得,拖车后轮受到的动载荷最大,动载系数也最大,是四轴拖挂车受力最严重的车轮;挂车前后轮的动

载荷和动载系数相差不大,动载荷比拖车前轮大,由于轴载较大,动载系数反而小。轴载一定时,各轮的动载荷及动载系数具有相同的变化规律。由于篇幅所限,本文只取挂车后轮作为考察对象,轴载一定时的动载系数将不列出其变化趋势。

3.2 车速对四轴拖挂车系统响应的影响

将车辆以0~50 m/s的速度在A级路面行驶作为仿真对象,得到拖挂车各轮的均方根动载荷随速度的变化(图5)。由图5可知,车轮的动载荷随着速度的提高逐渐增大;各轮的动载系数与动载荷变化规律是相似的,拖车前后轮、挂车后轮动载系数分别在1~1.2、1~1.23、1~1.18之间变化。因此,在做路面动力学分析中,选取动载系数时,应充分考虑车速的影响。

3.3 载质量对四轴拖挂车系统响应的影响

用挂车簧载质量的变化来模拟拖挂车辆载质量对动载荷的影响,得到拖挂车各轮的均方根动载荷、动载系数与挂车簧载质量变化的关系如图6~图8所示。

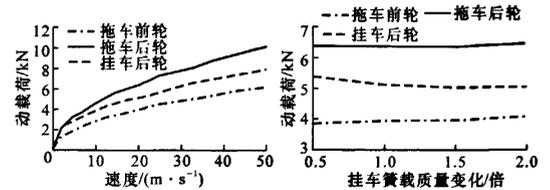


图5 各轮均方根动载荷与车速的关系 图6 各轮均方根动载荷与挂车簧载质量的关系

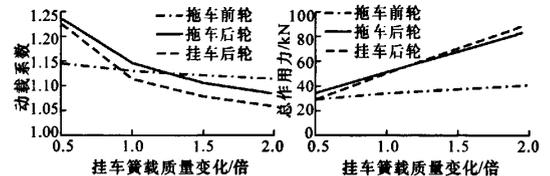


图7 各轮均方根动载系数与挂车簧载质量的关系 图8 各轮对路面总作用力与挂车簧载质量的关系

由图6、图7可以看出,随着挂车簧载质量的增加,拖车后轮的动载荷变化不大,但由于轴载的增大,动载系数下降;挂车的动载荷则随着簧载质量的提高而有所下降,且动载系数比拖车的动载系数下降要快,空车比载重车振动要大。拖车前轮的动载随挂车簧载质量增加有所增大,动载系数变化并不大。但综合考察车辆对路面的总作用力,得出车辆各轮对路面总作用力与挂车簧载质量变化的关系如图8所示。车辆对路面的总作用力逐渐增大,挂车各轮的影响最大,其对路面的总作用力增大最快,而拖车后轮的影响次之。对于道路而言,行驶车辆对

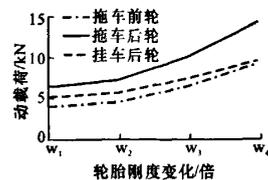
路面的总作用力就是移动载荷,对道路内部产生的应力应变均为动态变化的。挂车簧载质量的增加,车辆对路面的总作用力增加,这不仅会使路面各结构层正应力应变增加,而且会使垂向剪应力应变增加,从而加快道路的损坏。因此,限制超载是非常必要的。

3.4 轮胎刚度对四轴拖挂车系统响应的影响

在实际交通中,由于超载等原因,普遍出现依靠提高轮胎胎压来保证车辆行驶性能的现象,而轮胎胎压的变化可以粗略的归结为轮胎刚度的变化。模拟得到拖挂车各轮均方根动载荷随轮胎刚度变化的关系如图 9 所示。由图 9 可知,轮胎刚度的明显增加会导致动载荷的迅速提升,拖车前后轮、挂车后轮动载系数具有相似变化,最大值分别达到 1.3、1.32、1.2。由此可得,车辆胎压过大会造成路面的破坏。因此,应考虑采取措施,限制提高轮胎胎压。

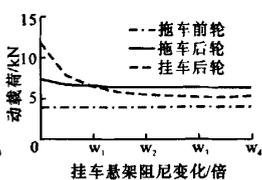
3.5 悬架参数对四轴拖挂车系统响应的影响

四轴拖挂车各轮均方根动载荷与挂车悬挂阻尼变化的关系如图 10 所示。由图 10 可知,挂车悬架阻尼发生变化时,对于拖车的动载影响不大,但对挂车的动载影响很大,在阻尼值较小时(0~0.5 倍),挂车各轮的动载变化很快;在相似的动载系数变化中,挂车后轮动载系数最大可达 1.26。可见挂车悬架阻尼对减缓挂车振动的作用是必不可少的,但阻尼增加到一定程度后对减小动载荷不起作用。



注: $w_1=1.0; w_2=1.1;$
 $w_3=1.5; w_4=2.0。$

图 9 各轮均方根动载荷与轮胎刚度的关系



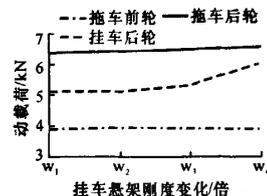
注: $w_1=0.2; w_2=0.4;$
 $w_3=1.0; w_4=2.0。$

图 10 各轮均方根动载荷与挂车悬架阻尼的关系

四轴拖挂车各轮的均方根动载荷与挂车悬架刚度之间的关系如图 11 所示。由图 11 可以看出,拖车的动载荷变化不大,而挂车各轮的动载荷增大,同样也就增大了挂车各轮的动载系数。增大挂车悬架的刚度,会增大挂车的两轮对路面的损伤。

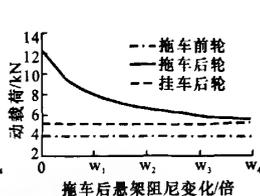
四轴拖挂车各轮均方根动载荷与拖车后悬挂阻尼变化的关系如图 12 所示。由图 12 可知,拖车后悬架阻尼发生变化时,对于挂车后轮的动载荷影响不大;拖车后轮的动载荷则随着拖车后悬架阻尼的增加而持续降低;拖车后轮动载荷系数在阻尼为 0

时取到最大值 1.28。尽可能增大拖车后悬架阻尼,对减轻拖车后轮对路面的作用力是十分有效的。



注: $w_1=0.8; w_2=1.0;$
 $w_3=2.0; w_4=3.0。$

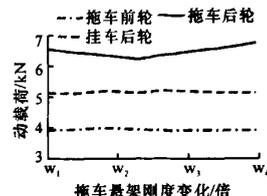
图 11 各轮均方根动载荷与挂车悬架刚度的关系



注: $w_1=0.2; w_2=0.4;$
 $w_3=1.0; w_4=2.0。$

图 12 各轮均方根动载荷与拖车后悬架阻尼的关系

四轴拖挂车各轮均方根动载荷与拖车后悬架刚度变化的关系如图 13 所示。由图 13 可以看出,拖车后悬架刚度增大时,对拖车前轮和挂车的动载荷影响不大;拖车后轮的动载荷与拖车后悬架刚度成平缓的抛物线状,在原来拖车后悬架刚度值的 1.5 倍附近取得最小值,此时对应的动载系数为 1.14。



注: $w_1=0.8; w_2=1.0;$
 $w_3=2.0; w_4=3.0。$

图 13 各轮均方根动载力与拖车后悬架刚度的关系

4 结 语

(1) 车辆在公路上行驶时,会对路面产生较大动载荷;动载荷的大小受路面等级、车速、载质量以及车辆结构参数的影响,可用动载系数进行评价。

(2) 车辆对路面的动载荷直接取决于路面的平整度;平整度较好的路面所承受的动载荷较小;建设高等级路面,保证路面施工质量,是减小车辆动载荷的一个重要途径,也能很好地延长路面的使用寿命。

(3) 车辆对路面的动载荷和动载系数随着车速的提高而增加。

(4) 各种载质量下,拖车各轮对路面的动载荷变化不大,但各轴的静载荷增大,各轮的动载系数减小,挂车的动载荷有所减小,空车比载重车振动大;车辆对路面的总作用力在增大,车辆对路面损坏在增大,所以需严格限制超载现象的出现。

(5) 车辆轮胎刚度的增加,会增大车辆对路面的动载荷,增量越大,动载荷和动载系数增大就越快;而轮胎胎压的变化,可以粗略归结为轮胎刚度的变化,因此应该对车辆轮胎胎压做一定的限制。

(6) 挂车悬架参数的变化,对拖车动载荷的影响

并不是很明显,但对挂车各轮动作用影响很大,增大挂车悬架阻尼会减小挂车两轮对路面的动载荷;挂车悬架刚度增大,则会增加挂车的轮胎动载荷;拖车后轮的动载荷和动载系数则随着拖车后悬架阻尼的增大而持续降低;尽可能增大悬架阻尼以减轻车辆对路面的动作用力是十分有效的;拖车后悬架刚度增大时,拖车的动载荷和动载系数在原来悬架刚度值的1.5倍附近取得最小值。

参考文献:

References:

[1] 叶俊杰. 高等级公路车辆荷载特性研究[D]. 西安:长安大学,2007.
 [2] Thomas D G, Karamihas S M. Heavy truck properties significant to pavement damage[C]//Bohdan T, Kulakowski. Proceeding of the Vehicle-road Interaction II Conference. Philadelphia, ASTM International, 1994: 52-63.
 [3] Cebon D. Theoretical road damage due to dynamic tyre forces of heavy vehicles, part 1: dynamic analysis of vehicles and road surfaces[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Mechanical Engineering Science, 1988, 202(c2): 103-108.
 [4] 宋一凡, 陈榕峰. 基于路面不平整度的车辆振动响应

分析方法[J]. 交通运输工程学报, 2007, 7(4): 39-43.
 SONG Yi-fan, CHEN Rong-feng. Analysis method of vehicle vibration response caused by pavement roughness[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(4): 39-43.
 [5] 刘晶郁, 王少贻, 蔡红民. 重型载货汽车悬架的优化设计[J]. 长安大学学报, 自然科学版, 2008, 28(5): 103-106.
 LIU Jing-yu, WANG Shao-zeng, CAI Hong-min. Optimal design of heavy truck suspension[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2008, 28(5): 103-106.
 [6] Mario F, Martin L, Marc S, et al. Dynamic analysis of existing continuous bridge[J]. Journal of Bridge Engineering, 1998, 3(1): 28-37.
 [7] 刘献栋, 邓志党, 高峰. 基于逆变换的路面不平度仿真研究[J]. 中国公路学报, 2005, 18(1): 122-126.
 LIU Xian-dong, DENG Zhi-dang, GAO Feng. Study of simulation of road roughness based on inverse transform[J]. China Journal of Highway and Transport, 2005, 18(1): 122-126.
 [8] 曾凡奇, 黄晓明. 超载对沥青路面的影响[J]. 交通运输工程学报, 2004, 4(3): 8-10.
 ZENG Fan-qi, HUANG Xiao-ming. Asphalt pavement stress under overloading[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004, 4(3): 8-10.

(上接第100页)

表1 实测结果

车速/(km·h ⁻¹)	5	10	20	30	40
最大偏差/%	2.10	2.80	3.40	3.70	4.77

3 结 语

(1)分析了影响动态称重精度的主要因素,并选用经验模态分解算法处理动态称重数据,提出了在采样时间内未采样到2个极值点情况下,采用非线性拟合的方法来降低或消除动态载荷的影响,具有一定的创新性。

(2)为了进一步研究该方法在汽车动态称重数据处理中的应用,一方面采集更多的车型、载质量、车速情况下的称重数据,进行EMD分解及非线性拟合试验;另一方面对EMD分解的边缘效应进行更深入的研究,寻找更有效的端点判定方法,减小边缘效应对动态称重的影响。

参考文献:

References:

[1] 李振锋. 基于光纤光栅的汽车动态称重系统的研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2008.
 [2] 周志峰, 蔡 萍, 陈日兴. 基于非线性拟合的汽车动态

称重数据处理新方法[J]. 上海交通大学学报, 2006, 40(5): 709-712.
 ZHOU Zhi-feng, CAI Ping, CHEN Ri-xing. A new method of processing data of weigh-in-motion of vehicles based on nonlinear curve-fitting[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2006, 40(5): 709-712.
 [3] Rakha H, Katz B, Al-Kaisy A. Field evaluation of weigh-in-motion screening on truck weigh station operations[J]. Intelligent Vehicles Symposium, 2003, 11(6): 74-79.
 [4] 许 嘉, 蔡 萍, 周志峰, 等. 参数估计算法在汽车动态称重中的应用[J]. 自动化技术与应用, 2005, 24(8): 69-71.
 XU Jia, CAI Ping, ZHOU Zhi-feng, et al. The parameter estimation algorithm and its application in vehicle weigh-in-motion[J]. Techniques of Automation and Applications, 2005, 24(8): 69-71.
 [5] Huang N E, Shen Z, Long S R. A new view of nonlinear water waves: the Hilbert spectrum[J]. Annual Review of Fluid Mechanics, 1999, 31: 417-457.
 [6] 孙 璐. 运动车辆随机载荷及其激励下的地面动力响应的理论研究[D]. 南京:东南大学,1996.
 [7] Ono T. On dynamic weighing of highway vehicles in motion[J]. SICE 2003 Annual Conference, 2003, 2(8): 2108-2115.