

文章编号:1671-6833(2010)04-0036-04

半挂汽车列车对路面作用荷载研究

倪凤英¹, 董忠红², 吕彭民²

(1. 长安大学 汽车学院, 陕西 西安 710064; 2. 长安大学 工程机械学院, 陕西 西安 710064)

摘要:为研究半挂汽车列车对路面作用荷载,建立1/2车辆动力学模型,研究了路面不平度、载质量、车辆速度和胎压等参数对车辆动载系数的影响。研究表明,车辆动载系数随着路面不平度、车辆速度和胎压的增加而增加,随着载质量的增加而减小。综合考虑路面不平度、载质量、车辆速度和胎压的影响,对于重载半挂汽车列车,A级路面上动载系数为1.14,B级路面上动载系数为1.19,C级路面上动载系数为1.27,D级路面上动载系数为1.36,为路面设计提供依据。

关键词:汽车工程;半挂汽车列车;车辆动载荷;路面不平度;车辆速度;轴重;胎压

中图分类号: U463.33 **文献标识码:** A

0 引言

重型车辆对路面的作用是引起路面破坏的重要原因,普遍的超载运输使得我国路面产生严重早期破坏。计重收费和集中治理超载以来,消除了超限运输的经济利益驱动,使装备质量回归到合理水平,有效地保护了路面结构。同时也影响了货车运力构成,半挂汽车列车承载能力高,收费优惠多,运输经济效益好,在目前高速公路货物运输,尤其是穿越运输中起着重要作用^[1]。2004年京沪高速公路上半挂列车占21.96%,完成的货运量占总货运量的48.46%^[1]。长安大学运输科学研究院对2006年全国高速公路网年度运输统计时发现,汽车列车完成货物周转量达57.23%^[2]。因此,分析半挂汽车列车对路面作用的动荷载,对深入研究现实路面结构力学行为具有重要的意义。

半挂汽车列车由牵引车和半挂车组成,运输过程中表现出的力学行为与单车有一定差距。李开军^[3]、关志伟^[4]等人针对半挂汽车列车制动、转弯、摆振和操作稳定性等方面展开了深入研究,但对路面作用的动荷载还鲜有研究。

笔者建立了基于分布装载质量的半挂汽车列车1/2车辆动力学模型。将轮胎的刚度处理为轴重和胎压的函数。采用频域分析方法,以EQ4161W牵引车和EQ9280BP半挂车组成的1+

2+5型半挂列车为研究对象,研究了路面不平度、轴重、胎压和车辆速度等因素对路面承受的车轮动压力的影响。

1 车辆动力学模型简介

图1为9自由度半挂汽车列车车辆动力学模型。

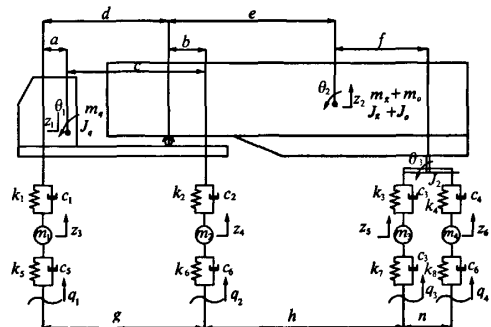


图1 半挂汽车列车车辆动力学模型

Fig.1 Dynamic vehicle model of tractor-semitrailer

各参数的意义如下: m_q 为牵引车空车簧上质量,kg; m_g 为挂车空车簧上质量,kg; m_o 为挂车装载质量,kg; J_q 为牵引车空车簧上质量转动惯量,kg·m²; J_g 为挂车空车簧上质量转动惯量,kg·m²; J_o 为挂车装载质量转动惯量,kg·m²; k_1, k_2, k_3, k_4 为悬架刚度,N/m; k_5, k_6, k_7, k_8 为轮胎刚度,

收稿日期:2010-04-29;修订日期:2010-05-30

基金项目:陕西交通科技计划项目(09-30k)

作者简介:倪凤英(1979-),女,河南南阳人,讲师,博士生,主要从事交通运输工程研究。E-mail:NIFY@chd.edu.cn.

N/m ; c_1, c_2, c_3, c_4 为悬架阻尼, $m; c_5, c_6, c_7, c_8$ 为轮胎阻尼, $m; m_1, m_2, m_3, m_4$ 为簧下质量, kg ; J_2 为平衡悬架转动惯量, $kg \cdot m^2$; a 为牵引车前桥距簧上质心距离, m ; b 为鞍座距牵引车后桥距离, m ; c 为牵引车后桥距簧上质心距离, m ; d 为牵引车前桥距鞍座点距离, m ; e 为挂车簧上质量质心距鞍座点距离, m ; f 为挂车簧上质量质心距后桥距离, m ; g 为轴距1, h 为轴距2, n 为轴距3, $m; \theta_1, \theta_2, \theta_3$ 分别为牵引车、挂车簧上质量俯仰振动和平衡悬架俯仰振动; $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6$ 分别为各个质量的垂向振动; q_1, q_2, q_3, q_4 为路面不平度激励。

车辆动力学方程在相关文献中有详细论述^[5], 已属成熟理论, 这里仅作简单描述。

轮胎对路面的动载荷为:

$$F_1 = k_5(q_1 - Z_3) + c_5(\dot{q}_1 - \dot{Z}_3) \quad (1)$$

$$F_2 = k_6(q_2 - Z_4) + c_6(\dot{q}_2 - \dot{Z}_4) \quad (2)$$

$$F_3 = k_7(q_3 - Z_5) + c_7(\dot{q}_3 - \dot{Z}_5) \quad (3)$$

$$F_4 = k_8(q_4 - Z_6) + c_8(\dot{q}_4 - \dot{Z}_6) \quad (4)$$

进而得出前、后轮的动载系数为:

$$D_1 = \frac{F_1}{F_{1s}}; D_2 = \frac{F_2}{F_{2s}};$$

$$D_3 = \frac{F_3}{F_{3s}}; D_4 = \frac{F_4}{F_{4s}}.$$

式中: F_{1s}, F_{2s}, F_{3s} 和 F_{4s} 分别为牵引车前桥、牵引车后桥、挂车后桥前轴和挂车后桥后轴的静态荷载。

车辆动力学模型中质量参数、几何参数以及转动惯量等参数可从车辆说明书或设计说明中直接得到, 由装载质量引起的分布质量、转动惯量、悬架刚度、悬架阻尼等参数经一定计算得到。为节约篇幅, 这里不再赘述。

轮胎刚度既受轮胎结构的影响, 也受轮胎的胎压和载荷的影响, 匈牙利学者 G. Komandi 以各种轮胎在混凝土路面上进行了大量试验, 提出了轮胎挠度 ΔH 的经验公式^[6]:

$$\Delta H = C_1 K \frac{W^{0.85}}{B_0^{0.7} D^{0.43} p_i^{0.9}} \quad (5)$$

式中: C_1 为与轮胎结构有关的参数, 斜交轮胎 $C_1 = 1.15$, 子午线轮胎 $C_1 = 1.5$; K 为常数, $K = 15 \times 10^{-3} B_0 + 0.42$; W 为轮胎载荷, 9.8 N ; p_i 为胎压, 100 kPa ; D 为轮胎直径, cm ; B_0 为轮胎宽度, cm 。

2 半挂汽车列车参数

EQ4161W 牵引车为东风汽车公司生产的一种半挂牵引车, EQ9280BP 半挂车为东风汽车公

司生产的一种 22.5 t 半挂车。主要参数如下:

$m_q = 4\,294 \text{ kg}$; $m_g = 3\,716 \text{ kg}$; $J_q = 320 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$; $J_g = 33\,254 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$; $k_1 = 2\,411\,200 \text{ N/m}$; $k_2 = k_3 = k_4 = 1\,071\,300 \text{ N/m}$; $m_1 = 800 \text{ kg}$; $m_2 = 1\,106 \text{ kg}$; $m_3 = m_4 = 792 \text{ kg}$; $J_2 = 33 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$; $a = 0.023\,5 \text{ m}$; $b = 0.3 \text{ m}$; $c = 3.176\,5 \text{ m}$; $d = 2.9 \text{ m}$; $e = 3.995 \text{ m}$; $f = 2.24 \text{ m}$; $g = 3.2 \text{ m}$; $h = 5.26 \text{ m}$; $n = 1.35 \text{ m}$; $c_1 = 55\,425 \text{ N/s}$; $c_2 = 97\,131 \text{ N/s}$; $c_3 = c_4 = 46\,952 \text{ N/s}$ 。

随着装载质量和胎压的不同, $m_o, J_o, k_s, k_6, k_7, k_8$ 不断变化。根据参考文献^[6], 取 $c_5 = c_6 = c_7 = c_8 = 3\,000 \text{ N/s}$ 。

该车采用 10.00R20-16PR 子午线宽轮辋轮胎, 参考 GB 9744-1997 和式(5), 得该轮胎的挠度 ΔH 为:

$$\Delta H = 0.016\,5 \frac{W^{0.85}}{p_i^{0.9}} \quad (\text{cm}) \quad (6)$$

式中: W 为轮胎载荷, 9.8 N ; p_i 为胎压, 100 kPa 。

根据式(6)进而可以确定各个轮胎的刚度, 它们是胎压和载荷的函数。

3 车辆动力学仿真

3.1 路面不平度与轴重对车辆动载系数影响

路面不平度是影响车辆动载荷的关键因素之一。GB7031-1986《车辆振动输入路面平度表示方法》中采用垂直位移单边功率谱密度 $G_d(n)$ 描述路面不平度的统计特性。

$$G_d(n) = G_d(n_0) (n/n_0)^{-\omega} \quad (7)$$

式中: n 为空间频率; 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; ω 为频率指数, $\omega = 2$ 。

我国根据路面不平度系数 $G_d(n_0)$ 将路面分为 8 级。这里研究 A, B, C, D 4 种等级路面上半挂汽车列车对路面动荷载。

为了研究轴重对车辆动荷载的影响, 同时为了便于道路设计时使用, 这里以半挂车并装双轴的后桥轴重为控制指标, 研究各个轴的动载系数随后桥轴重变化。选择的轴重有 34.4, 70, 100, 130, 160, 180, 200, 234, 250 和 270 kN 10 个等级。

图 2 为不同路面等级和不同轴重下各个车轴对路面作用动载系数。计算时车辆速度取 60 km/h, 胎压取 700 kPa。为了表述方便, 这里规定图 1 中牵引车的前桥为“轴 1”, 牵引车后桥为“轴 2”, 半挂车双联轴的前轴为“轴 3”, 半挂车双联轴的后轴为“轴 4”。

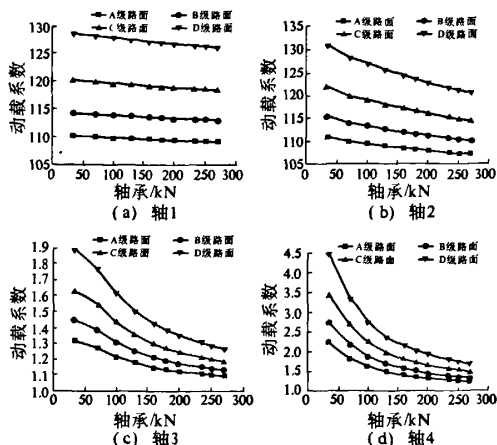


图2 对路面作用动载系数
Fig. 2 Dynamic load coefficient

由图2可知:

(1)路面不平度对车辆动载系数影响严重.双联轴轴重为180 kN, A级路面上轴3和轴4的动载系数为1.13和1.15,而D级路面上轴3和轴4的动载系数达到1.38和1.41,两个等级的路面承受的动荷载相差45.9 kN.因此,路况越差,车辆振动越严重,车辆对路面的动力荷载越大,路面越容易受到破坏.这符合力学规律.提高路面不平度是减小车辆对路面的动荷载,提高路面使用寿命的有效措施.

(2)双联轴轴重对车辆动载系数有一定的影响.随着半挂车双联轴轴重的增加,即载质量的增加,各个轴的动载系数减小.说明载质量越大,车辆振动越轻,这符合力学规律.空车状态振动最严重,如D级路面上,轴4的空车动载系数达到2.4,由车辆振动产生的附加振动冲击荷载为车辆自重引起荷载的1.4倍.目前采用的计重收费方法,只能考虑车辆自重引起的路面破坏,而对由高速运行时车辆振动引起的附加振动冲击荷载导致的路面破坏考虑不足,尤其是对空车引起的破坏考虑不足.实际路面设计时,可采用一定的动载系数对轴重进行修正.

(3)相同路面等级下,载质量的增加对半挂车的轴3和轴4动载系数影响严重,而对牵引车的轴1和轴2影响相对较小.主要是因为半挂车的后悬较长,半挂车车桥距货箱中心距离较短,载质量的变化对半挂车轴重影响严重,而对牵引车的轴重影响相对较小.

(4)对于轴3和轴4,欠载工况下,即双联轴轴重小于180 kN时,轴重对动载系数影响较严

重;而轴重大于180 kN的超载工况下,轴重对动载系数影响相对较小.进行当量轴重换算时,应考虑轴重对其动载系数的影响.

(5)双联轴轴重为180 kN时, A级路面上,轴1动载系数为1.1、轴2动载系数为1.08、轴3动载系数为1.13、轴4动载系数为1.15,各个轴动载系数相近,因此,将各个轴动载系数进行平均反应半挂车列车动载系数,即, A级路面上半挂车列车动载系数为1.11.同理可得B级路面上半挂车列车动载系数为1.16, C级路面上半挂车列车动载系数为1.23, D级路面上半挂车列车动载系数为1.32.

3.2 胎压和速度对车辆动荷载影响

以A级路面为代表,研究胎压和速度对车辆动荷载的影响.选择700, 1 000和1 300 kPa等3个胎压等级.车辆车速分别为40, 50, 60, 70和80 km/h.半挂车双联轴后桥轴重为180 kN.图3为牵引车和半挂车的动载系数.

(1)车辆速度对各个轴动载系数影响严重,随着速度的增加,动载系数增加,动载系数与车辆速度呈线性关系.

(2)胎压对动载系数有一定的影响,随着胎压的增加,各个轴动载系数增加.

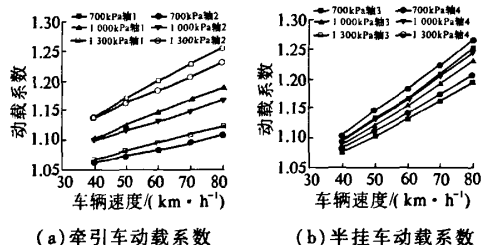


图3 车辆速度与动载系数的关系

Fig. 3 Dynamic load coefficient of tractor

(3)目前货运车辆胎压普遍较高,重型运输车辆胎压一般在1.1~1.3 MPa.提高充气压力,既提高了轮胎承载性能,又节约燃油消耗,减小运输成本.但增加了车辆对路面的破坏.因此,超压也同样威胁生命安全和道路使用寿命,在治理超载的同时也应治理超压.

(4)实际交通运输中,半挂车列车车速一般为50~70 km/h.综合分析各个胎压下的动载系数,以胎压0.7 MPa速度60 km/h下各轴的动载系数为各轴的基准,轴1、轴2、轴3和轴4的动载系数均值分别为其基准值的1.05倍、1.04倍、1.02倍和1.02倍.取平均值1.03作为评价胎压

和车辆速度对半挂汽车列车动载系数的影响。

4 结论

(1)建立了半挂汽车列车动力学模型,以EQ4161W/EQ9280BP型半挂汽车列车为研究对象,研究了路面等级、轴重、胎压和车辆速度对车辆动载系数的影响。

(2)路面等级对半挂汽车列车动载系数有着严重影响,随着路面不平度的增加,各个轴动载系数显著增加。载质量对车辆动载系数有着一定的影响,随着载质量的增加,动载系数减小,半挂车动载系数受载质量影响严重,而牵引车动载系数受载质量影响相对较小,尤其是牵引车前桥的动载系数,基本不受载质量影响。

(3)随着胎压与车辆速度的增加,半挂汽车列车动载系数增加。各个轴动载系数与车辆速度呈线性关系。目前货运车辆胎压普遍较高,既影响操纵稳定性,又增加了车辆对路面的破坏作用,在治理超载的同时也应进一步治理超压。

(4)综合考虑路面不平度、载质量、车辆速度和胎压的影响,对于重载半挂汽车列车,A级路面

上动载系数为1.14,B级路面上动载系数为1.19,C级路面上动载系数为1.27,D级路面上动载系数为1.36。可为路面设计提供依据。

参考文献:

- [1] 陈荫三. 公路通行费改革及其对货车发展的影响[J]. 交通运输工程学报, 2006, 6(2): 99 - 106.
- [2] 陈荫三, 肖润谋, 马谏, 等. 2006年全国高速公路网运输分析[J]. 交通运输工程学报, 2008, 8(3): 91 - 96.
- [3] 李开军, 邓堃, 夏群生, 等. 半挂汽车列车制动中载荷转移对制动性能的影响[J]. 农业机械学报, 2007, 38(11): 17 - 21.
- [4] 关志伟, 郭墅, 许洪国, 等. 半挂汽车列车闭环非线性系统行驶稳定性分析[J]. 公路交通科技, 2005, 22(12): 143 - 147.
- [5] 郑仲浪, 吕彭民. 多轴大货车对路面的动作用力研究[J]. 郑州大学学报: 工学版, 2009, 30(4): 44 - 47.
- [6] 张克健. 车辆地面力学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.

Dynamic Load Exerting on Highway by Tractor - semitrailer

NI Feng - ying¹, DONG Zhong - hong², LV Peng - min²

(1. School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. School of Engineering Machinery, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: To study the dynamic load on the highway coming from tractor - semitrailer, a dynamic vehicle mode was developed. And the influences of the road roughness, the vehicle speed, the axle load and the tire pressure on the dynamic load coefficient were studied. It is found that the load coefficient increases with the increase of the road roughness, the vehicle speed and the tire pressure, yet it decreases with the increase of the axle load. Combination the influences of the road roughness, the vehicle speed, the axle load and the tire pressure, the load coefficient is 1.14 for the level A road, and the load coefficient is 1.19 for the level B road, and the load coefficient is 1.27 for the level C road, and the load coefficient is 1.36 for the level D road.

Key words: vehicle engineering; tractor - semitrailer; dynamic vehicle load; road roughness; vehicle speed; axle load; tire pressure