

不平路面上汽车制动过程建模与仿真分析

左曙光¹ 张琦¹ 吴小青²

¹(南京航空航天大学, 南京, 210016)

²(南京理工大学, 南京, 210016)

MODELLING, SIMULATION AND ANALYSIS OF BRAKING PROCESSES OF AUTOMOBILE CROSSING ROUGH ROAD SURFACE

Zuo Shuguang¹, Zhang Qi¹, Wu Xiaoqing²

¹(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing, 210016)

²(Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, 210016)

摘要 建立了汽车在不平路面上制动过程的动力学模型, 提出了反映路谱对车轮制动影响的非线性时变轮胎力学模型, 仿真计算了BJ-212汽车在随机路面上的制动过程, 通过分析说明路面不平度对车辆制动性能存在显著的影响, 得出了路面不平度增大时, 汽车的制动距离增长, 制动加速度减小等有价值的结论。

关键词 汽车 路面不平度 制动 建模 模拟

中图分类号 TB122

Abstract A mathematics model of automobiles braked on a rough road-surface is established. The nonlinear and time-varying footprint tyre model braked crossing the rough road-surfaces is presented. Braking processes of BJ-212 automobile crossing even and uneven road surfaces are simulated. Exemplary results show that the more braking distance of automobile increase, the more braking deceleration decrease if the more rough the road surface is.

Key words automobile, rough road-surface, braking, modelling, simulation

1 汽车的理论模型

(1) 汽车模型简化 为了研究汽车直线制动过程中路面不平度对制动性能的影响, 可把汽车简化为7个自由度平面模型, 其模型如图1所示。图中: x, z, θ 为车体的位移和转角; θ_1, θ_2 为前后轮转角; z_1, z_2 为前后车轮的位移。

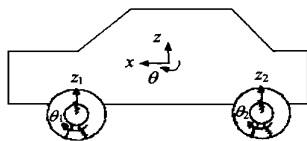


图1 汽车简化模型

(2) 整车数学模型 根据以上简化模型, 采用W-R方法建立汽车的数学模型, 其矩阵表达式为

$$M \cdot \ddot{V} = F \quad (1)$$

式中: M, F 分别为汽车的质量系数阵和力矢量。系数阵 M 为

$$M =$$

$$\begin{bmatrix} m + m_1 + m_2 & 0 & m_1 z_1 + m_2 z_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ m_1 z_1 + m_2 z_2 & 0 & J + m_1 z_1^2 + m_2 z_2^2 & 0 & 0 & J_1 & J_2 \\ 0 & m_1 & -m_1 A_1 & m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & -m_2 A_2 & 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & J_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & J_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

力矢量 F 可描述为

$$F =$$

$$\begin{bmatrix} - (m + m_1 + m_2) qv + (m_1 A_2 + m_2 A_2) q^2 - 2q(m_1 w_1 + m_2 w_2) + F_{x1} + F_{x2} + G_{x1} + G_{x2} \\ m_1 qu + F_{z1} + F_{z2} + G_z \\ - (m_1 z_1 + m_2 z_2) qv + (m_1 A_1 + m_2 A_2) q^2 - 2q(m_1 z_1 w_1 + m_2 z_2 w_2) - F_{z1} A_1 - F_{z2} A_2 + G_{x1} z_1 + G_{x2} z_2 + F_{x1} z_1 + F_{x2} z_2 + T_{g1} + T_{g2} \\ m_1 (qu + z_1 q^2) - F_{z1} + F_{z1} + G_{z1} \\ m_2 (qu + z_2 q^2) - F_{z2} + F_{z2} + G_{z2} \\ T_{g1} - T_1 \\ T_{g2} - T_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

M 矩阵中: m, m_1, m_2 分别为汽车车体、前、后桥的质量; J, J_1, J_2 分别为汽车机体、前、后轮的转动惯量; A_1, z_1 为前轮轮心的坐标; A_2, z_2 为后轮心的坐标。

F 矩阵中: $G_{xi}, G_{zi} (i=1, 2)$ 分别是前、后轮的重力分量; $F_{xj}, F_{zj} (j=1, 2)$ 分别是前、后轮所受地面力分量; T_1, T_2, T_{g1}, T_{g2} 为前、后制动器扭矩和地面制动力矩; $F_{zj1} (j=1, 2)$ 为板簧力。

(3) 制动过程中的非线性时变轮胎力学模型

根据车轮与地面的相互作用, 简化后的轮胎力学模型如图 2 所示^[1]。

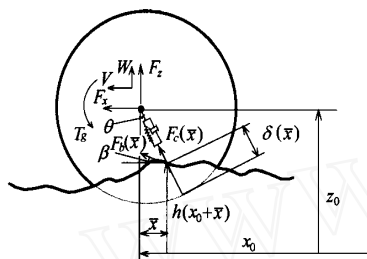


图 2 非线性时变轮胎力学模型

在接地印迹长度内沿角度 θ 处的径向变形 $\delta(\bar{x})$ 和径向变形速度 $\dot{\delta}(\bar{x})$ 可用下列公式表达

$$\left. \begin{aligned} \delta(\bar{x}) &= R - [z_0 - h(x_0 + \bar{x})] / \cos\theta \\ \dot{\delta}(\bar{x}) &= (v \frac{dh(x_0 + \bar{x})}{d\bar{x}} - w) / \cos\theta \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

从而可求出该分布弹簧 k 、阻尼 c 元件的径向分布力

$$F_c(\bar{x}) = \begin{cases} k\delta(\bar{x}) + c\dot{\delta}(\bar{x}) & \delta(\bar{x}) > 0 \\ 0 & \delta(\bar{x}) < 0 \end{cases} \quad (5)$$

车辆的制动过程中, 地面对制动轮在角 θ 处的制动摩擦力 $F_b(\bar{x})$ 为

$$F_b(\bar{x}) = \begin{cases} -\mu \cos(\theta + \beta) F_c(\bar{x}) & \cos(\theta + \beta) > 0 \\ 0 & \cos(\theta + \beta) < 0 \end{cases} \quad (6)$$

则作用于轮胎上角度 θ 处的垂直力、水平力和力矩为

$$\left. \begin{aligned} F_x(\bar{x}) &= -\sin\theta F_c(\bar{x}) + \cos\beta F_b(\bar{x}) \\ F_z(\bar{x}) &= \cos\theta F_c(\bar{x}) + \sin\beta F_b(\bar{x}) \\ T_g(\bar{x})\bar{x} &= -F_z(\bar{x})\bar{x} - F_x(\bar{x})[z_0 - h(x_0 + \bar{x})] \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

而作用于车轮上的垂直动载荷制动力和地面制动力矩为接地印迹长度上分布力的矢量和。

2 汽车制动过程的仿真计算与分析

本文参考北京 JB-212 的主要参数, 理论模拟

计算汽车 30m/s 的初速度下, 取 3 种代表性的路面: 平路、较好、较差。3 种随机路面上的制动过程的模拟计算值如表 1 所示。

表 1 3 种路面上的制动仿真数据

随机路面	平均制动减速度/ $m \cdot s^{-2}$	制动距离/m
	2.868	8.582
	2.789	8.937
	2.695	9.686

从表 1 的仿真数据变化分析: 平路上的平均制动减速度最大, 制动距离最短; 较差路面上汽车的制动减速度的平均值最小, 制动距离最长; 路面处于 和 之间。所以说随着路面不平度的增大, 汽车的制动减速度小, 而制动距离随路面不平度的增大而显著增大。这与文献[2]的实验有一致的规律性。

3 结论

(1) 车轮不跳离地面时, 路面不平度对汽车制动性能有显著的影响, 随着路面不平度增大, 汽车的制动减速度减小, 制动距离增长。

(2) 从模拟分析说明: 整车建模和非线性时变轮胎力学模型可以用于不平路面上车辆制动过程分析。

参 考 文 献

- 左曙光, 刘德彰, 等. 反映路谱对车辆制动性能影响的轮胎模型. 南京航空航天大学学报, 1997, 29(5): 549~553
- 刘伟. 紧急制动时车辆的响应. 汽车技术, 1994(5): 29~32



左曙光 1968 年生, 副教授, 1996 年 6 月博士毕业于吉林工业大学, 1996 年 7 月至 1998 年 9 月南京航空航天大学宇航技术流动站从事博士后研究工作。主要从事汽车拖拉机的制动和振动方面的研究。发表科研论文十余篇。1998 年 9 月至今在上海铁道大学机械系从事车辆领域的教学及科研工作。

张琦 南京工程兵工程学院教授, 中共党员, 南京航空航天大学博士后, 博士毕业于浙江大学, 主要从事工程机械自动控制领域的研究工作。

吴小青 南京理工大学博士后, 中共党员, 1997 年博士毕业于吉林工业大学汽车拖拉机专业, 主要从事车辆振动噪声领域的科研工作。