

路面不平度对车辆制动过程中轮胎动态性能影响的仿真分析

左曙光
(同济大学)

程悦菀
(吉林工业大学)

摘要: 采用作者建立的非线性时变轮胎模型, 仿真分析了路面不平度幅值及路面空间频率变化对地面附着性能的影响。得出路面不平度增大时, 使路面对车轮的附着能力下降, 因而使制动距离增长的结论。同时说明非线性时变轮胎模型能较真实地体现路面不平度的影响, 对不平路面上车辆制动性能仿真是一个有效的轮胎力学模型。

关键词: 路面不平度; 车辆制动; 仿真; 轮胎模型

文献[3]中通过制动实验分析, 得到汽车的实际制动加速度随车速升高而发生了显著的变化。国外的有关资料表明^[4], 在不同的路面上汽车的制动距离随路谱的变化而有明显改变。但是有关从理论上分析汽车在不平路面上制动性能发生变化机理的研究很少。作者认为引起汽车制动性能变化的关键是轮胎和地面的影响。由于有路谱的影响, 在制动过程中必引起汽车的振动, 这是个非线性非平稳过程。采用轮胎的点接触和固定印迹长度的轮胎模型是不能反映该过程的变化。作者在文献[1]中做了这方面的研究。只有能较真实地反映轮胎接地印迹长度瞬时变化的面接触轮胎模型才能从理论上进行制动过程规律的研究。本文分析轮胎与地面相互作用关系, 采用作者建立一个非线性时变轮胎力学模型^[2], 从理论上分析车辆制动过程中路谱对轮胎的动态作用。

1 非线性时变轮胎力学模型

将轮胎力学模型简化为图 1 所示的形式。在接地印迹长度 l 上均匀分布有 n 个径向分布的刚度阻尼单元。图中只画出一个刚度阻尼单元。图中 R 为轮胎自由半径; z 为车轮中心到基准面的垂直高度; v , w 为轮心的水平和垂直速度; $h(x)$ 为距轮心正下方处的路面不平度; $dh(x)/dx$ 为距轮心 x 处的路面不平度的斜率。

1.1 单个弹簧阻尼元件的力学特性

在接地印迹长度内沿图示角度处的弹簧、阻尼元件受到地面不平度影响而发生变形, 其径向变形

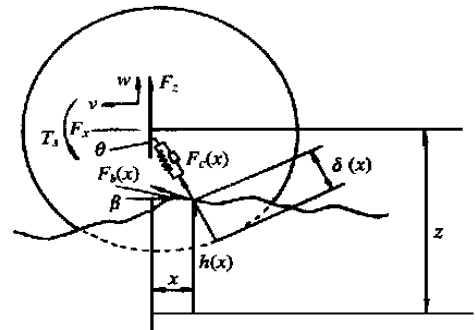


图 1 非线性时变轮胎模型

Fig 1 Nonlinear time varying tyre model

$D(x)$ 和径向变形速度 $\dot{D}(x)$ 可表示为

$$D(x) = \frac{R - [z - h(x)]}{\cos H} \quad (1)$$

$$\dot{D}(x) = \frac{v dh(x)/dx - w}{\cos H} \quad (2)$$

根据图中的几何关系可以计算角度 H

$$H = \arctg \left(\frac{x}{z - h(x)} \right) \quad (3)$$

在给定轮胎分布刚度为 k , 分布阻尼为 c 时, 单个分布弹簧阻尼元件的径向分布力 $F_c(x)$ 为

$$F_c(x) = \begin{cases} kD(x) + c\dot{D}(x) & D(x) > 0 \\ 0 & D(x) < 0 \end{cases} \quad (4)$$

在该处沿路面切向的制动摩擦力 $F_b(x)$ 表示为

$$F_b(x) = \begin{cases} -L \cos(H+B) F_c(x) & \cos(H+B) > 0 \\ 0 & \cos(H+B) < 0 \end{cases} \quad (5)$$

其中 L 为该点处的摩擦系数; B 为

$$B = -\arctg \left(\frac{dh(x)}{dx} \right) \quad (6)$$

将径向分布力 $F_c(x)$ 和分布地面制动摩擦力 $F_b(x)$ 沿垂直和纵向分解, 可得到轮胎接地印迹长度中, 该处的垂直接地力 $F_z(x)$ 、水平接地力 $F_x(x)$

和地面制动力矩 $T_g(x)$

$$\begin{cases} F_x(x) = -\sin H F_c(x) + \cos s B F_b(x) \\ F_z(x) = -\cos s H F_c(x) + \sin B F_b(x) \\ T_g(x) = -F_z(x)x - F_x(x)[z - h(x)] \end{cases} \quad (7)$$

1.2 轮胎上的合力

作用于车轮上垂直动载荷 F_z 、制动力 F_x 和地面制动力矩 T_g 为接地印迹长度 l 上分布力的矢量和, 即

$$\begin{cases} F_x = \int_0^l F_x(x) dx \\ F_z = \int_0^l F_z(x) dx \\ T_g = \int_0^l T_g(x) dx \end{cases} \quad (8)$$

2 制动过程中轮胎力的动态模拟

本文以拖拉机为研究对象, 利用上述非线性时变轮胎模型, 在轮心上附加一固定质量的重块, 完全抱死时, 使轮胎以一定的初速度 v 制动通过一个正弦波路面, 仿真分析其动态变化。简化模型如图 2 所示。

在模拟计算中所设定的条件为: 半径为 0.762 m、分布刚度为 7041.06 N/m、分布阻尼为 95.72 N·s/m, 固定重块的质量为 2060 kg, 车轮的制动初速度为 57.6 km/h, 在幅值为 2.0 cm 波长为 2 m 的正弦波路面制动。

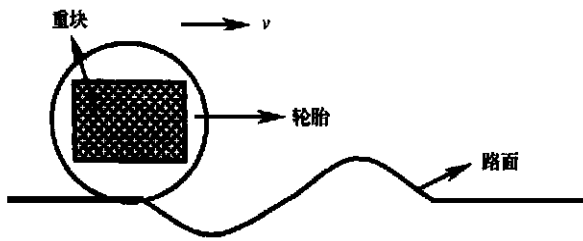


图 2 动态仿真计算的简化模型

Fig. 2 Simplified model in dynamic simulation calculation

从制动初速度开始至制动停止这一过程中, 地面对轮胎的垂直作用力(附着重量)和附着力的动态仿真计算曲线如图 3 所示。

图 3 说明轮胎在制动过程中的附着重量和附着力是变化的。当轮胎进入正弦波路面时, 附着重量和附着力都发生了明显的波动, 越过正弦路面后附着力和附着重量的波动逐渐减弱。用附着力除以附着重量表示各瞬时时刻附着系数。在制动过程中的附

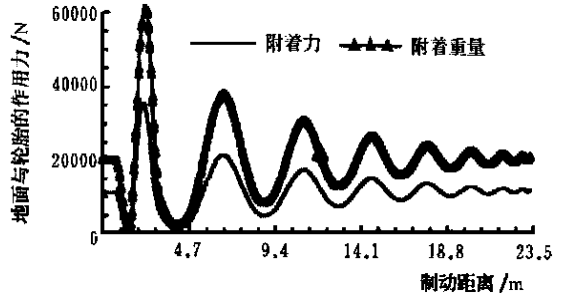


图 3 制动过程中轮胎力曲线

Fig. 3 Tyre force in the process of vehicle braking

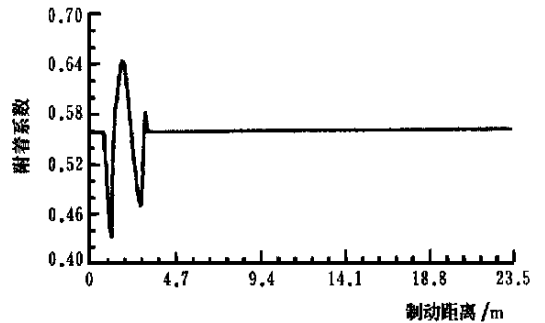


图 4 制动过程中附着系数曲线

Fig. 4 Tyre adherent coefficient in the process of vehicle braking

着系数也是变化的。其变化曲线如图 4 所示。

从轮胎力和附着系数的变化可以看出, 在正弦波的路面上轮胎附着重量和附着力的变化是非线性的, 由于不平路面上随着路形起伏变化, 轮胎的接地印迹和长度与位置在轮心正下方左右变化, 使得各时刻的附着重量和附着力发生改变, 表现为附着系数瞬时变化, 说明附着能力也是变化的。而在通过正弦波的平路制动阶段时, 尽管附着重量和附着力在波动, 但附着系数是一个恒定的值, 说明附着能力没有改变。所以说路面不平度影响了汽车制动过程中的附着能力。

3 路面不平度对附着性能的影响分析

在上述的仿真基础上, 利用正弦波波长和幅值的变化反映路谱频率和幅值的改变, 仿真分析地面附着系数的变化。分析路面不平度对制动过程中附着能力影响。在每一次制动过程中附着系数都会如图 4 所示随空间路面不平度变化而发生相应的改变。为了比较制动过程中不同的路面对附着性能的影响, 采用附着系数的平均值作为评价依据。图 5 给出了 2 种正弦波长的路面上不同幅值时的平均附着系数的变化关系。

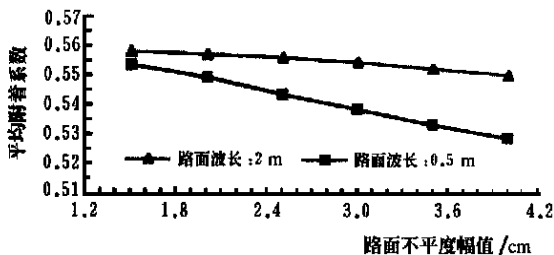


图 5 平均附着系数与路面不平度的关系曲线

Fig 5 Relationship between the average adherent coefficient and road surface roughness

从图中的仿真数据可知: 波长为 2 m 和 0.5 m 的正弦波路面上随着幅值由 1.5 cm 升致 4 cm, 平均制动附着系数是减小的, 也就是说路面的附着能力变差。其中 0.5 m 波长的路面上幅值增大时, 路面附着能力变差的趋势比 2 m 波长的路面上要大。

4 路面不平度对制动距离的影响

图 3 中分析了路面不平度使制动过程中附着能力发生变化, 必然会影响制动距离。研究中结合上述模型, 作者对引起汽车振动集中的路面频率 0.5 m⁻¹至 8 m⁻¹和振幅为 1 cm 至 4 cm 范围内的车辆制动进行动态仿真计算。路面不平度频率对制动距离的影响如图 6 所示。路面不平度幅值对制动距离的影响如图 7 所示。

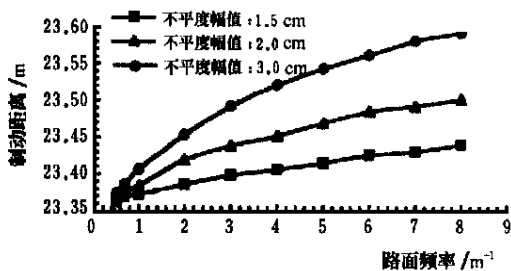


图 6 路面频率与制动距离的变化关系

Fig 6 Relationship between road surface spatial frequency and braking distance

图 6 中分析了在幅值为 1.5 cm、2.0 cm、3.0 cm 的 3 种不同幅值的正弦波路面上, 路面频率变化对制动距离的影响。同一种幅值时在 0.5 m⁻¹至 8 m⁻¹内随路面空间频率的增大, 制动距离是增加的。随路面不平度幅值的增加, 制动距离随路面空间频率增大的趋势也在增大。

图 7 中仿真分析了在波长为 2.0 m、1.0 m、0.5 m 3 种正弦波路面上不同的幅值变化对制动距

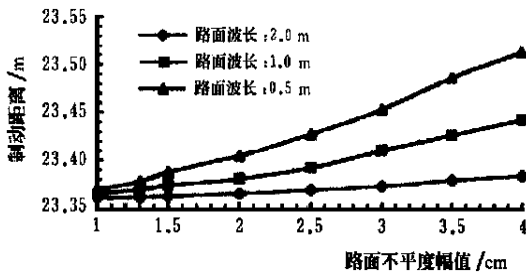


图 7 路面幅值与制动距离的变化关系

Fig 7 Relationship between road surface amplitude and braking distance

离的影响。在幅值为 1 cm 至 4 cm 范围内, 随路面不平度幅值的增大制动距离是增加的。路面波长越小(路面频率增大), 路面幅值使制动距离增大的变化率也是加大的。

路面不平度对制动距离的影响分析与路面不平度影响地面的附着能力的分析是一致的。路面不平度增大(包括频率和幅值), 使地面的附着能力下降, 从而使制动距离增大。

5 结 论

1) 由于路面不平度的影响, 使轮胎抱死时制动过程每一时刻附着重量和附着力发生变化。因为附着重量和附着力的变化率呈非线性, 体现了附着系数的瞬时改变, 也反映了地面附着能力随空间路面和制动时刻的变化而发生相应改变。

2) 在车轮不跳离地时和常用的路面频率(0.5 m⁻¹至 8 m⁻¹)内, 路面不平度(包括频率和幅值)增大, 轮胎在路面上的附着能力减弱, 车辆的制动距离增长。

3) 非线性时变轮胎模型是能反映路面不平度对制动距离影响的关键。模型是较充分反映了接地印迹长度上路面不平度及路面不平度的变化率对轮胎力的影响。它是模拟分析不平路面上汽车制动过程较好的一类轮胎模型。

[参 考 文 献]

- [1] 左曙光 路面不平度对拖拉机挂车机组制动性能的影响[学位论文] 长春: 吉林工业大学, 1996
- [2] 左曙光 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, 5: 549~ 553
- [3] 刘 伟 紧急制动时车辆的响应 汽车技术, 1994, 5: 29~ 32
- [4] Oldrich Kropac, Jaroslvs Sprinc Braking distance of

vehicles influenced by random pavement on Tracks 1985, 6
unevennesses The Dynamics of Vehicle on Roads and

Simulation Analysis of the Influence of Road Surface Roughness on Tyre Dynamic Performance in Vehicle Braking

Zuo Shuguang

Cheng Yuesun

(Tongji University, Shanghai 200331)

(Jilin University of Technology)

Abstract Influences of the changes of the amplitude and space frequency of road surface roughness on adhesion ability are simulated and analyzed by means of the nonlinear and time-varying tyre model made by the author. The conclusions, which adhesion ability of road to the tyre reduces so that braking distance increases while road surface roughness increases, are obtained. Meanwhile, it is seen that the nonlinear and time-varying tyre model is useful for the simulation and analysis of braking performances of vehicles on rough road surface because it reflects the real influence of the road surface roughness on tyre.

Key words: road surface roughness; vehicle braking; simulation; tyre model

《中国饲料新技术产品指南》饲料工业职业技能培训 教学录像带、培训教材征订启事

为方便饲料工业企业对职工集中进行职业技能培训, 中国饲料工业协会制作了《饲料加工工艺与设备》(时间长度 120 分钟)和《饲料制粒技术》(时间长度 180 分钟)教学录像带,《饲料加工工艺与设备》录像带全面、系统地介绍了国内大中型饲料加工企业中应用的生产加工工艺流程和各加工工序所使用的设备种类、饲料企业环保和产品质量管理, 是职业技能培训基础教学录像带。《饲料制粒技术》录像带介绍了国内饲料工业企业常见饲料制粒工艺及其设备的工作原理、使用、维修、保养等, 它是《饲料粉碎制粒工》专用职业技能培训教学录像带。欢迎饲料工业行业有关教学科研单位、企业和个人订购。

中国饲料工业协会组织编写了《饲料工业职业技能培训统编教材》, 该套教材按照饲料工业企业各岗位技术人员应掌握的理论知识和操作技能的要求, 充分结合当前我国饲料工业行业实际, 内容详实、通俗易懂、实用性强, 是劳动和社会保障部向全社会推荐的职业技能培训教材, 也是进行饲料工业行业职业技能培训的指定教材。同时也可供饲料生产、设计、营销和科研人员参考。

改革开放以来, 我国饲料工业得到了长足的发展, 新技术、新产品的研制与开发在我国饲料工业的发展中发挥了重要作用。为全面系统地介绍、交流和宣传我国饲料工业新技术、新产品, 促进科技成果迅速向生产转移, 加强饲料工业科研院校和生产企业的合作, 中国饲料工业

协会编辑出版了《中国饲料新技术产品指南》一书。该书系统介绍了“八五”、“九五”国家科技攻关成果以及我国饲料行业生产企业应用的最新工艺和生产技术。本书不仅对我国饲料加工企业选用新技术、新产品有很好的指导作用, 而且对饲料行业项目立项和科技成果开发推广有一定的借鉴价值, 是一本难得的饲料行业科技工具书, 可供饲料行业企业、科研教学等单位 and 人员参考。

职业技能培训录像带:《饲料加工工艺与设备》200 元 6 套、《饲料制粒技术》200 元 6 套, 职业技能培训教材:《饲料加工工艺》22 50 元 6 册、《饲料分析》32 10 元 6 册、《饲料与营养》18 70 元 6 册、《饲料原料清理上料》11 40 元 6 册、《饲料制粒技术》27 00 元 6 册、《饲料粉碎技术》12 00 元 6 册、《饲料厂自动控制技术》15 30 元 6 册、《饲料加工设备维修》29 50 元 6 册、《分析化学》15 00 元 6 册、《中国饲料新技术产品指南》80 00 元 6 本。

邮购上述教材、录像带请通过邮局汇款, 汇款时务必将收件人姓名、工作单位、通讯地址、邮编、联系电话写清楚。同时, 在汇款单附言栏内写明购买书籍、录像带的名称、册(套)数。

汇款(勿电汇)请寄: 北京市朝阳区麦子店街 20 号楼, 收款人: 中国饲料工业协会科技教育处, 邮政编码: 100026, 联系电话: 010264194582, 传真: 010264194592。

(本刊辑)