

Study and Application of Vehicle Speed Estimation Based on the Scratched Marks on Sidewall of Tire

Pingfei Li¹, Hua Zhou²

¹Dept. of Automotive Engineer, School of Traffic and Automotive, Chengdu, China, 610039

²Xihua University, Institute of Xihua Power-driven Vehicle Forensic Science, Chengdu, China, 610039

Email: xhlpf12@sina.com

Abstract: According to the actual problems encountered in traffic accidents, the model between the scratched marks on tire sidewall with the vehicle velocity was established. The different characteristics of the scratched marks on tire sidewall were analyzed under different relative vehicle speed and wheel slip ratio. A method to estimate the relative speed of two vehicles based on scratched marks was put forward. The correctness of the model established was verified by a real traffic accident example through the application.

Keywords: tire sidewall; scratched mark; slip ratio; speed

基于胎侧擦痕估算车速的研究及应用

李平飞¹, 周华²

¹西华大学交通与汽车工程学院 汽车工程系, 四川成都, 610039

²四川西华机动车司法鉴定所, 四川成都, 610039

Email: xhlpf12@sina.com

摘要: 根据交通事故中遇到的实际问题, 建立了胎侧擦痕与车速度的模型, 并分析了不同滑移率、两车不同的相对速度下胎侧擦痕轨迹具有的不同特征。提出了基于胎侧擦痕估算车辆行驶速度的方法。通过实例应用验证了模型的正确性。

关键词: 胎侧; 擦痕; 滑移率; 速度

1 引言

道路交通事故发生前的车速(简称事故车速)是确定事故责任的依据, 事故车速是研究事故再现的主要内容之一^[1]。在计算事故发生瞬间车辆的行驶速度时, 经常需要根据事故现场的轮胎拖印、车体碰撞痕迹及地面分布的散落物等物证痕迹对事故过程进行分析、推理。实际交通事故显示, 对向刮擦、同向刮擦、侧面相撞事故发生后, 往往是质量小的车辆失控、在路面遗留可以用于估计其碰撞后速度的痕迹, 而质量大的车辆则没有在路面遗留表明其减速状态的痕迹或则仅遗留很短的一段制动痕迹、且远离两车接触点在路面的位置停定, 无法估计其碰撞后的速度。此外, 对装有ABS的事故车辆, 其制动拖印难以辨认, 造成事故发生时车辆行驶速度难以计算。

刮擦痕迹在交通事故中属于轻微印迹, 其形态结构能很好的反映接触部位的凹凸结构与其运动过程。

其每一根线条本质上是造痕体的凸点在承痕体上的运动轨迹^[2]。文献[3]研究了车辆在胎侧留下的擦痕与车辆相对速度的关系, 但仅考虑轮胎在产生擦痕的过程中车轮处于纯滚动状态。目前, 较多车辆都装有ABS系统, 当车身上的点在轮胎上产生擦痕时, 车轮可能由于ABS系统的作用而处于边滚边滑的状态。因此, 本文引入滑移率的概念, 建立胎侧擦痕与车辆行驶速度的研究模型。

2 建立模型

根据文献[3], 建立一个旋转坐标系xoy和一个平移坐标系XOY。两坐标系的原点均位于载货汽车轮心。设定两车发生刮擦时轿车速度为 v_c , 载货汽车速度为 v_t , 载货汽车车轮滚动的角速度为 ω , 定义两车相对速度为 $v_r = v_t - v_c$ 。客车车体上离地高度为h的点M在载货汽车轮胎的胎侧留下擦痕。设定t时刻点M至轮心的距离为记半径 $\rho(t)$, 极半径与X轴的夹角为辐角 $\theta(t)$ 。但文献[3]仅考虑轮胎在产生擦痕的过程中载

基金项目: 四川省科技厅资助项目(2007GGY004)

货汽车车轮处于纯滚动状态。目前,较多车辆都装有ABS系统,当车身上的点在载货汽车轮胎上产生擦痕时,车轮可能由于ABS系统的作用而处于边滚边滑的状态。因此,本文引入滑移率的概念,建立胎侧擦痕与速度的研究模型。

设胎侧擦痕起点在平移坐标系中的坐标为 $M_0[X(0), Y(0)]$, 此时 $t = 0$ 。刮擦点 t 时刻的位置在 M_t , 如图1。此时刮擦点在平移坐标系中的参数方程为:

$$\begin{aligned} X(t) &= X(0) - v_t t \\ Y(t) &= h - R \end{aligned} \quad (1)$$

$$\rho^2(t) = X^2(t) + (h - R)^2 \quad (2)$$

刮擦点在旋转坐标系中的参数方程为:

$$\begin{aligned} x(t) &= \rho(t) \cos(\theta(t) + \omega t) \\ y(t) &= \rho(t) \sin(\theta(t) + \omega t) \end{aligned} \quad (3)$$

式中

$$\theta(t) = \begin{cases} \arccos \frac{X(t)}{\rho(t)} & h - R > 0 \\ 2\pi - \arccos \frac{X(t)}{\rho(t)} & h - R < 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$\omega = \frac{v_t(1-s)}{R} \quad (5)$$

式中, s —滑移率;
 R —轮胎半径。

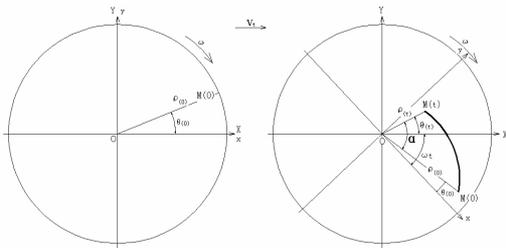


Figure 1. Track of scratched point
图1. 刮擦点的运动轨

2.1 刮擦点运动轨迹

设载货汽车轮胎半径为0.4m, 客车车体刮擦点离地高度为0.3m, 擦痕的起点在XOY中的坐标在客车超越载货汽车时为(-0.35, 0.3), 在载货汽车超越客车时为(0.35, 0.3)。根据上述建立的模型, 分别对不同相对速度、载货汽车车轮具有不同滑移率的情况下刮擦点的轨迹特征进行分析。对装有ABS系统的车辆,

在ABS起作用过程中, 车轮滑移率一般在0.15~0.20, 本文中滑移率取0.2。

2.1.1 客车超越载货汽车 ($v_t = 8m/s, v_c = 30m/s$)

两车同向行驶, 客车超越载货汽车, 此时刮擦点轨迹如图2所示, 轨迹由第三象限经第四、一象限, 呈向下凹形状。当载货汽车车轮滑移率为0.2时, 刮擦点轨迹的最小曲率较滑移率为0时要小, 当车轮滑移为1时, 即车轮抱死, 此时刮擦点轨迹为一直线。同时, 两车的相对速度越大, 轨迹的曲率也越小, 当相对速度趋于无穷大时, 轨迹趋于一直线。

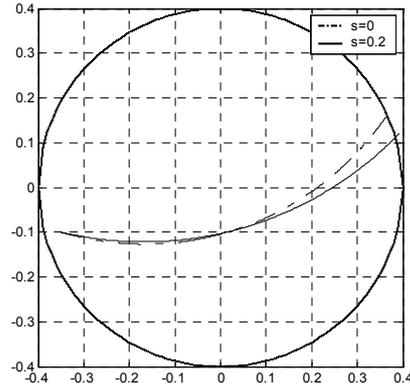


Figure 2. Passenger card beyond truck
图2. 客车超越载货汽车

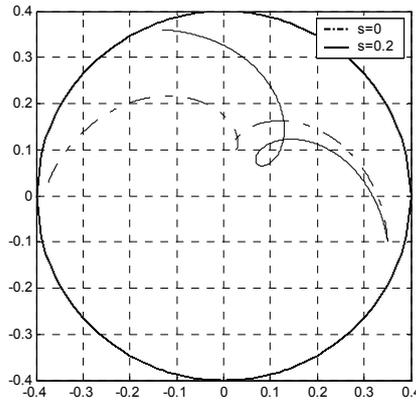


Figure 3. Truck beyond passenger card
图3. 载货汽车超越客车

2.1.2 载货汽车超越客车 ($v_t = 20m/s, v_c = 14m/s$)

两车同向行驶, 载货汽车超越客车, 此时刮擦点轨迹如图3所示, 轨迹由第四象限经第一、二象限。刮擦点在胎侧逆时针旋转数圈后离开轮胎。当载货汽车车轮滑移率为0.2时, 刮擦点轨迹较滑移率为0时要短。两车速度越接近, 轨迹圈数就越多。

2.1.3 两车行驶方向相反 ($v_t = 15m/s, v_c = -20m/s$)

两车相对方向行驶, 此时刮擦点轨迹如图4所示, 轨迹由第四象限经第三象限, 形状向上凸。当载货汽车车轮滑移率为0.2时, 刮擦点轨迹的最小曲率较滑移率为0时要小。同时, 两车的相对速度越大, 轨迹的曲率也越小, 当相对速度趋于无穷大时, 轨迹趋于一直线。

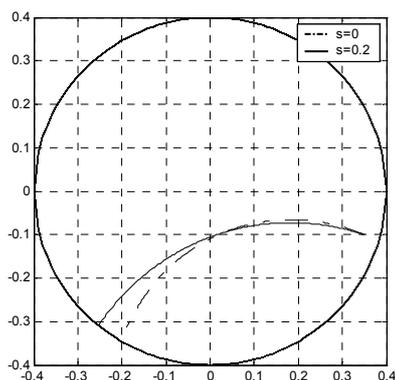


Figure 4. Opposite directions
图4. 两车行驶方向相反

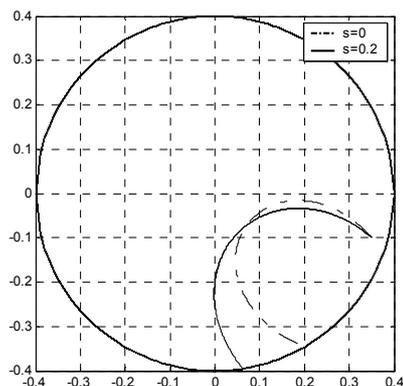


Figure 5. Passenger card stopped
图5. 客车静止

2.1.4 客车静止 ($v_t = 15m/s, v_c = 0m/s$)

客车静止不动, 此时刮擦点轨迹如图5所示, 轨迹位于第四象限。当载货汽车车轮滑移率为0.2时, 刮擦点轨迹的最小曲率较滑移率为0时要小。轨迹的形状与载货汽车的速度无关。

2.2 擦痕与相对速度

为方便求解载货汽车的行驶速度, 根据擦痕的相关参数确定两车相对速度与擦痕的关系。由图1可知:

$$\alpha = \omega t - \theta(0) + \theta(t) \quad (6)$$

式中: α —擦痕对应的圆心角。

则根据式(1)、式(5)及式(6)可推出

$$\frac{v_t - v_c}{v_t} = \frac{X(0) - X(t)}{(\alpha - \theta(t) + \theta(0))R} (1-s) \quad (7)$$

3 应用

在一起交通事故中, 一辆大客车在行驶过程因驾驶员采取紧急制动并向行驶方向的右侧避让前方紧急制动的车辆, 导致正由大客车右侧超车的摩托车在避让过程中发生向左翻倒滑行, 在滑行过程中, 摩托车的鞍座与大客车右后车轮副胎胎侧发生接触, 在胎侧产生明显擦痕, 如图6所示。事故现场遗留的大客车后轮的制动拖印长度约为4.3m, 摩托车倒地后的划痕发生弯折(划痕弯折的产生是摩托车鞍座与大客车轮胎胎接触导致摩托车的运动方向发生改变), 前段长度约为4.3m, 后段长度约为26.5m。根据倒地划痕, 可以估算摩托车在倒地瞬间的速度, 同时可以估算出摩托车在与大客车发生接触时的行驶速度约为63km/h; 而大客车在事故发生时的速度如果直接根据制动拖印来估算则明显不符实际。因该车制动系统安装有ABS系统, 导致大客车在采取制动时未留下制动拖印, 直到速度较低时才产生拖印。因此, 可以根据轮胎胎侧的擦痕来估算大客车的在与摩托车发生接触时的行驶速度。

(1) 测量参数

$$h = 0.32m, \rho_0 = 0.34m, \rho_t = 0.43m, \alpha = 0.471。$$

(2) 擦痕轨迹分析

如图6所示, 胎侧擦痕的极半径由 ρ_0 到 ρ_t 单调递增, 且轨迹未与以 $|R-h|$ 为半径的圆相切, 因此根据文献[3], 在擦痕产生过程中, 摩托车的速度比大客车的速度高, 且接触起、止点均位于XOY坐标系的第四象限内。



Figure 6. scratched mark of sidewall
图6 胎侧擦痕

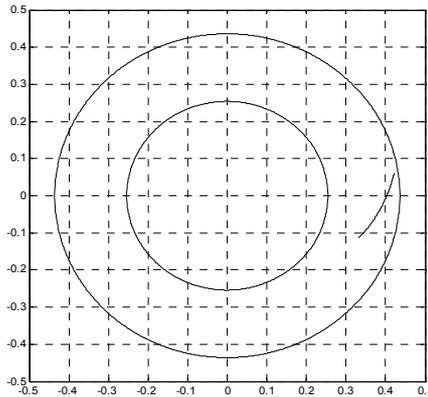


Figure 7. scratched track of calculation
图7 计算所得擦痕轨迹

(3) 其他参数

根据式(2)计算擦痕起、止点横坐标:

$$X(0) = 0.320m, \quad X(t) = 0.414m。$$

因本案例中的大客车制动系统安装有ABS,且擦痕是在大客车制动过程中产生的,因此将上述参数带入式(7),估算大客车在与摩托车接触时的行驶速度(滑移率取0.2)约为44km/h,计算所得擦痕的轨迹如图7所示。

4 影响因素分析

(1) 车轮滚动状态

上述案例中,如果不考虑车轮滑移率的影响,车轮按纯滚动计算,则估算所得的大客车行驶速度约为40km/h。可见,轮胎的滚动状态对估算结果有较大影

响。

(2) 擦痕起点横坐标

擦痕起点横坐标所处的象限位置如果判断错误,将导致估算的结果严重偏离实际速度。为准确判断擦痕起点在XOY坐标系中的象限位置,一般在擦痕上测量至少三个点的极半径,通过比较三个点的极半径大小,判断擦痕是否与以 $|R-h|$ 为半径的圆相切,从而可以确定擦痕起点的象限位置。

5 结论

(1)建立了胎侧擦痕与车辆相对速度的关系模型,分析了胎侧擦痕的轨迹特征,并通过案例验证了模型的适用性。

(2)案例分析表明,计算所得的轨迹与胎侧的实际擦痕保持较好的一致性,说明所建立的模型的正确性,同时说明车轮滑移率对计算结果具有一定的影响。

(3)实际应用时,需要根据路面的各种痕迹综合判断轮胎是处于纯滚动、边滚边滑或抱死拖滑,从而合理估计车轮的滑移率。若不能确定滑移率,则该模型不适用。

References (参考文献)

- [1] Qian Yubin, Traffic accident vehicle speed analyzing model based on tyreskidmark [J], Journal of Chang an University(Natural Science Edition, 2004(1).
- [2] He Chunqin, Scratch marks tested in traffic accident[J], Forensic Science and Technology, 2007(1).
- [3] Liu Cheng, Li Yibing, Vehicle speed estimate based on the scratch marks on sidewall of tire [J], Automotive Engineering, 2005(2).