

高速公路汽车防追尾安全行驶研究

吴新烨, 葛晓宏, 黄红武*

(厦门大学物理与机电工程学院, 福建 厦门 361005)

摘要: 为了提高在高速行驶状态下的车辆主动安全性能, 并针对高速公路上汽车追尾事故发生的特点, 以汽车制动过程为分析基础, 得到 3 种不同的安全车距计算方法. 利用 Matlab 对干燥路面状况下的车速与安全车距的关系进行仿真. 仿真结果表明, 其符合国家对机动车运行安全的要求. 在此基础上, 研究了汽车防追尾安全行驶的控制与执行, 最后提出了基于不同影响因子的安全车距等级预警方法.

关键词: 安全车距; 仿真分析; 影响因子; 安全行驶; 预警

中图分类号: TP 391.9

文献标识码: A

文章编号: 0438-0479(2009)03-0373-05

对于公路交通事故的分析表明, 80 % 以上的车祸是由于驾驶员反应不及时所引起的, 超过 65 % 的车辆相撞属于追尾相撞. 奔驰汽车公司对各类交通事故的研究表明: 若驾驶员能够提早 1 s 意识到有事故危险并采取相应的正确措施, 则绝大多数的交通事故将可以避免^[1].

1 汽车安全行驶预警理论研究

1.1 汽车安全行驶预警系统框架

一般汽车安全形式预警系统的基本组成与功能如图 1 所示. 然而预警工作的基础是对信息系统的状态参数进行正确的知识表达, 进而为报警系统建立一个准确的数学模型.



图 1 汽车安全行驶预警系统框架

Fig. 1 Frame of safe warning system of vehicle

1.2 汽车行驶状态

设呈纵向排列, 其间距为 D (单位: m) 的 A (目标车)、B (跟随车) 两汽车在同一条道路上沿同一方向先后行驶. 如图 2 所示, 其分别以 V_A 、 V_B 速度行驶. 设 A 车上的驾驶员发现有险情对本车实施制动, 当 A 车速度减为 V'_A 时, A 车所行驶的距离为 D_A ; 设 B 车上的驾驶员从观察到 A 车实施制动后开始对本车实施制动, 当 B 车速度减为 V'_B 时所行驶的距离为 D_B . d 为设计

所要求的在 A、B 两车实施制动后到达制动后速度 V'_A 、 V'_B 时的两车实际距离. d 的取值可因人而异, 一般为 2 ~ 5 m, 极端情况下可为零. 这是因为其取值受驾驶员的驾驶经验、当天驾驶的气候条件以及心理承受力等方面影响.

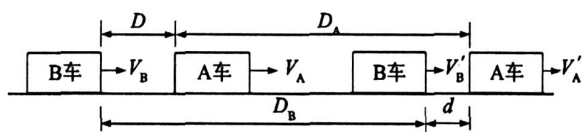


图 2 两车行驶状态

Fig. 2 Station of running of two vehicles

1.3 跟随车的制动减速过程分析与制动距离

首先对制动过程做一分析. 制动过程具体分为: 驾驶员反应阶段 T_{r1} 、动作阶段 T_{a1} (驾驶员做出反应后脚移动到制动器以及制动器消除间隙阶段)、制动减速度增长阶段 t_2 、持续制动阶段 t_3 等 4 个阶段^[2]. 故可得 B 车的制动距离 D_B 为

$$D_B = V_B (T_{r1} + T_{a1} + \frac{t_2}{2}) + \frac{V_B^2 - V_{B'}^2}{2j_{B_{\max}}} - \frac{j_{B_{\max}}^2}{24} t_2^2 \quad (1)$$

1.4 目标 A 制动距离分析

1) 理论上目标汽车制动减速过程分析与制动距离.

在理论上, 目标 A 车也要经历与 B 车同样的制动减速过程. 所以在理论上目标 A 车的制动距离 D_A' 为

$$D_A' = V_A (T_{r1} + T_{a1} + \frac{t_2}{2}) + \frac{V_A^2 - V_{A'}^2}{2j_{A_{\max}}} - \frac{j_{A_{\max}}^2}{24} t_2^2 \quad (2)$$

2) 现实中目标车辆制动减速过程分析与制动距离.

收稿日期: 2008-09-12

* 通讯作者: hhw6796@xmut.edu.cn

在实际行车中, B 车的驾驶员确知目标车 A 车实施了制动是在 A 车的制动灯亮后, 因而, A 车制动过程的行驶距离应仅为该车制动减速增长阶段、制动持续阶段内行驶的距离. 故可得 A 车在 t_2 、 t_3 时间内的制动距离 D_A 为

$$D_A = V_A \frac{t_2}{2} + \frac{V_A^2 - V_A'^2}{2j_{A_{\max}}} - \frac{j_{A_{\max}}}{24} t_2^2 \quad (3)$$

1.5 安全行驶车距分析

若要求前后两车不相撞, 从行驶速度上分析, 理想情况为: 当跟随车 B 与目标车 A 均实施制动后, 两车相距为 d 时, 两车末速度相等, 即 $V_B' = V_A'$ (包括速度均为零), 否则两车就会相撞 ($V_B' > V_A'$) 或所得计算结果并非临界距离 ($V_B' < V_A'$). 另外, 若要求前后两车不相撞, 从行驶距离上则必须满足 $D_A + D \geq D_B + d$. 所以制动实施前的两车间距 D 必须满足 $D \geq D_B + d - D_A$.

因而为了不使两车发生碰撞, 临界安全距离为

$$D^* = D_B + d - D_A.$$

1.6 安全车距讨论

1.6.1 最小安全车距 D_1

显然, 当我们考虑了 A 车驾驶人员的反应以及制动磨合时间所计算出来的临界车距应该是所有车距要求中最小的. 所以

$$\begin{aligned} D_1 &= D_B + d - D_A' = \\ &= (T_{r1} + T_{a1} + \frac{t_2}{2})(V_B - V_A) + \frac{V_B^2 - V_A'^2}{2j_{B_{\max}}} - \\ &= \frac{V_A^2 - V_A'^2}{2j_{A_{\max}}} - \frac{j_{B_{\max}}}{24} t_2^2 + \frac{j_{A_{\max}}}{24} t_2^2 + d \end{aligned} \quad (4)$$

该式反映出, 前后纵向行使的两车若要避免发生碰撞, 两车至少应该保持的车距, 故称为最小安全车距.

1.6.2 基本安全距离 D_2

在实际高速公路行驶过程, 跟随车 (B 车) 的驾驶员是在识别目标车 (A 车) 制动灯亮后, 才进行实施制动的. 因此, 这就减少 A 车在其驾驶员反应时间内所移动的距离. 因此这段车距要求为一般车距要求. 因而

$$\begin{aligned} D_2 &= D_B + d - D_A = V_B(T_{r1} + T_{a1}) + \\ &= (V_B - V_A) \frac{t_2}{2} + \frac{V_B^2 - V_A'^2}{2j_{B_{\max}}} - \frac{V_A^2 - V_A'^2}{2j_{A_{\max}}} + \\ &= d - \frac{j_{B_{\max}}}{24} t_2^2 + \frac{j_{A_{\max}}}{24} t_2^2 \end{aligned} \quad (5)$$

该式反映出, 在跟随车知道目标车发生制动后, 能及时进行制动的情况下两车至少应该保持的车距, 故称为基本安全距离.

1.6.3 充分安全距离 D_3

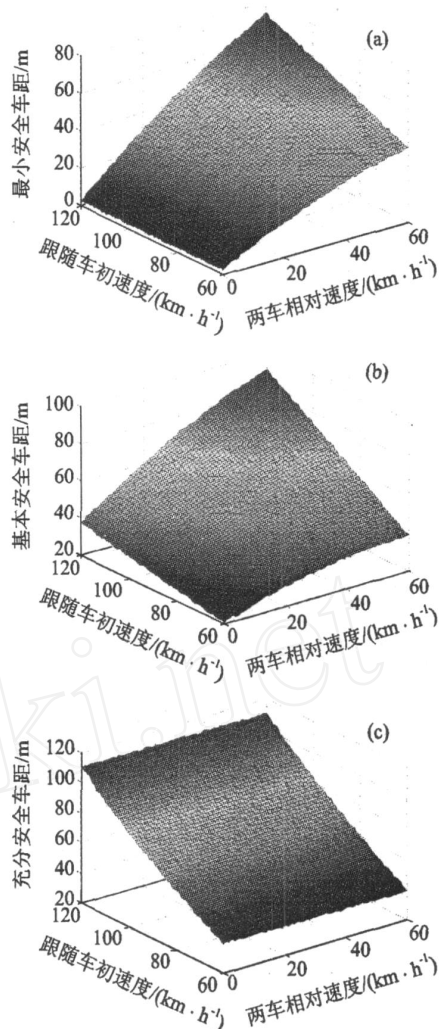


图3 最小、基本和充分安全车距仿真

Fig. 3 The emulation of the minimum, basic, sufficient safe vehicle gap

当 A 车的制动减速度 $j_{A_{\max}} = \infty$ (这种情况也有可能发生, 因为比如目标车发生故障, 突然停止行驶), 使得 A 车从初速度 V_A 瞬间变为 0^[3], 则此时 $D_A \approx 0$, 故充分安全间距 D_3 为

$$\begin{aligned} D_3 &= V_B(T_{r1} + T_{a1} + \frac{t_2}{2}) + \frac{V_B^2 - V_A'^2}{2j_{B_{\max}}} - \\ &= \frac{j_{B_{\max}}}{24} t_2^2 + d \end{aligned} \quad (6)$$

它反映的是呈纵向排列的 A、B 两行驶车辆在最不利条件下实施制动时的要求 (如目标车突然发生了追尾情况), 称满足式 (6) 关系的行车间距为充分安全间距.

因此我们可以根据以上得到的 3 个安全车距作为我们预警系统研究的参数分界.

2 模型相关参数的确定及其仿真

表 1 两车速度在 60 ~ 120 km/h 时的最小安全车距 D_1

Tab. 1 The minimum safe distance base on velocity between 60 and 120 km/h

最小安全车距 D_1 / m							B 车速度 / (km · h ⁻¹)
前后 A、B 两车相对速度 V_r / (km · h ⁻¹)							
0	10	20	30	40	50	60	
3							60
3	13.414	22.863					80
3	15.343	26.721	37.135	46.584			100
3	17.272	30.579	42.922	54.300	64.714	74.163	120

表 2 两车速度在 60 ~ 120 km/h 时的基本安全车距 D_2

Tab. 2 The basic safe distance base on velocity between 60 and 120 km/h

基本安全车距 D_2 / m							B 车速度 / (km · h ⁻¹)
前后 A、B 两车相对速度 V_r / (km · h ⁻¹)							
0	10	20	30	40	50	60	
20.417							60
26.222	33.734	40.281					80
32.028	41.468	49.944	57.465	64.003			100
37.833	49.203	59.608	69.049	77.543	85.036	91.583	120

表 3 两车速度在 60 ~ 120 km/h 时的充分安全车距 D_3

Tab. 3 The sufficient safe distance base on velocity between 60 and 120 km/h

充分安全车距 D_3/m				B 车速度 / ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)
前后 A、B 两车相对速度 $V_r/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$				
60	80	100	120	
39.444				60
	59.309			80
		83.031		100
			110.611	120

在上述模型中,我们取两车的制动减速度为相同值.这主要是出于两方面的考虑:一方面是为了系统简化;另一方面,实际行车过程中,跟随车制动减速度一般大于目标车制动减速度,取他们的值相等,则更偏向安全.同时,我们可以假设 A、B 两车经过制动后, $V_A' = V_B'$ (包括制动结束后两车都已停止). 因为如果 $V_A' < V_B'$, 那么两车明显还不是处在安全状态, 而如果 $V_A' > V_B'$, 显然两车已经处在安全状态. 由于 t_2 本身较小, 故在车距中可以忽略这些二次方项.

一般来说驾驶员反应阶段 T_{r1} 为 0.3 ~ 1 s、动作阶段 T_{a1} 为 0.045 s (驾驶员做出反应后脚移动到制动器以及制动器消除间隙阶段)、制动减速度增长阶段 t_2 为 0.2 s 左右、持续制动阶段 t_3 等 4 个阶段^[4]. 故取 T_{r1}

= 1 s, T_{a1} = 0.045 s, t_2 = 0.2 s, d = 3 m, 对干燥路面的车距进行仿真, 得到如图 3 所示的结果.

由图 3 的仿真曲线, 我们可以得到最小安全车距、基本安全车距以及充分安全车距随着两车速度变化而变化的规律. 通过曲线可以很容易地获得某种特定情况下的最小安全车距、基本安全车距以及充分安全车距. 同时结合高速公路具体行车情况, 可得表 1 ~ 3.

依据国家对机动车运行安全技术条件的要求, 仿真结果足以保证汽车的行驶安全. 因此如果将各种特定情况下的曲线通过仿真过程获得并将其制作成表, 存放在程序存储器中, 就可以在汽车防碰撞系统工作时, 提高系统的实时性, 使汽车达到最佳制动效果并提高汽车驾驶安全^[5].

3 对于预警系统实现的思考

1) 如图 4 所示: 在车上安装一个超声波发射器和一个超声波接受器, 当超声波发射器发出的超声波达

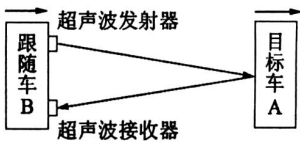


图 4 车距测量原理图
Fig. 4 The principle of vehicle gap measurement

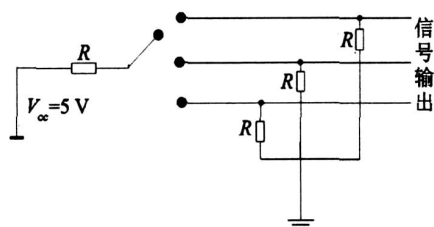


图 5 路面情况选择开关

Fig. 5 Road conditions selector switch

到目标车的尾部时,一部分超声波会反射回来并被跟随车的超声波接受器收到. 如果知道超声波的频率或者波长,以及接受器接受到的脉冲数,就可以测量出两车之间的距离.

2) 由于 V_A 、 V_B 为需要实时测量的参数,其中 V_B 利用 B 车速度传感器测量,测量误差较小; V_A 利用安装于 B 车前部的传感器如激光雷达等传感器测量. 这些传感器各有其特点和适用范围,随着天气情况的变化(如浓雾灰尘等),其测量范围和精度也随之变化. 同时,车辆前方处于传感器探测范围内的所有物体如交通标志、桥梁、对面来车等也会对传感器的测量产生影响. 因此,为了减少传感器的测量或性能变化对测量值的影响,一般采用两个以上的传感器测量前方车辆的距离和速度(如采用激光雷达、毫米波雷达和 CCD 摄像机等任意两个的组合),然后对各传感器的测量数据进行融合处理,如进行数据的关联、跟踪滤波、加权处理等,以提高测量数据的准确性.

3) 实际使用中,设想在驾驶室的仪表板上设置一手动式三触点路面选择开关,驾驶员可以根据当天驾驶时的实际路面情况(干燥、湿滑、冰雪)将按钮置于合适位置. 路面情况选择开关如图 5 所示.

在这里,可以两车相对速度 $V_r = V_B - V_A = 20$ km/h,而 V_B 从 60 ~ 120 km/h,对在不同路面的基本安全车距进行模拟,得到如图 6 所示的结果.

4) 由于在这里考虑了 3 种不同驾驶条件下的汽车安全车距,所以根据现实操作可行的需要,应该考虑提供一个影响因子的概念. 因为最小安全车距充分考虑了目标车的驾驶员反应时间,而充分安全车距则过多考虑了极为个别的极端情况,但是基本安全车距则比较真实地反映了现实的驾驶状态,所以我们考虑设置 3 个的安全车距影响因子(这个可以根据实际驾驶情况进行概率统计分析),最小安全车距的影响因子为 ω_1 ,基本安全车距的影响因子为 ω_2 ,充分安全车距的影响因子为 ω_3 . 且满足 $\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1$. 所以最后提供给预报警系统作为预警临界安全车距 $S = \omega_1 D_1 + \omega_2 D_2 + \omega_3 D_3$.

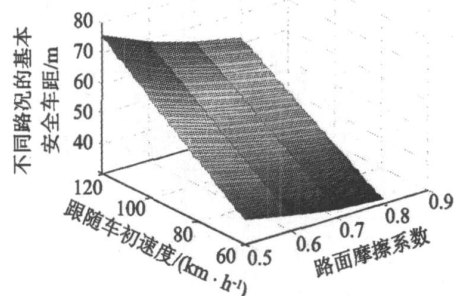


图 6 不同路况下的基本安全车距仿真

Fig. 6 The emulation of the basic safe vehicle gap on different road

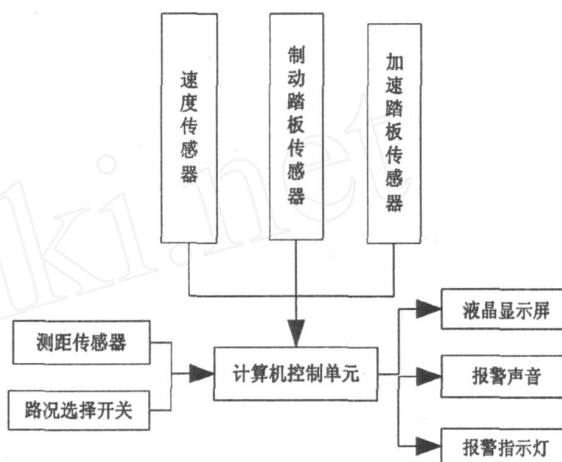


图 7 防追尾安全行驶预警系统组成

Fig. 7 Anti-collision warning system

5) 预警系统的实现. 关于防碰撞判断与控制系统判断当前测量数据下会发生追尾碰撞的危险程度,实现的方法是将实际测量到的车间距离与计算得到的临界车间距离进行比较,当实际车间距离接近碰撞报警距离时,报警器发出警告信号,提醒驾驶员注意减速或避让;当实际车间距离小于碰撞报警距离但大于自动制动距离时,加大报警频度和强度,促使驾驶员尽快采取有力的措施;若驾驶员未及时采取相应的措施,导致实际车间距离接近自动制动距离时,系统通过执行机构接管对汽车的控制,使汽车减速或制动,而当实际车间距离大于制动距离后,自动制动机构恢复常态. 具体实施过程如下:通过超声波测量到实际的车间距离 $S_{实}$,并与计算得到的临界车间距离进行比较. 在此设置一个安全等级开关指标 m ,有

$$m = S_{实} / S \times 100 \%$$

根据 m 实施的控制动作: $m < 1$ 时,实施自动制动; $1 \leq m < 1.1$ 时,报警; $1.1 \leq m < 1.2$ 时,提醒; $m > 1.2$ 时,不做任何动作,继续进行实时监控.

具体防追尾碰撞系统组成如图 7 所示.

4 结 语

本文针对高速公路上汽车追尾事故发生的特点,以汽车制动过程为分析基础,得出 3 个不同的安全车距,并利用 Matlab 进行仿真分析;同时也研究了汽车安全行驶的控制与执行,并提出了基于不同影响因子的安全等级车距预警方法。但车辆安全预警系统涉及信号检测、车辆控制等多个领域,其工作也受多个因素的约束:车间距离、跟随车速度、两车的相对速度以及道路状况和驾驶员的驾驶风格和对安全车距的承受能力。因此在进行危险分析和判断时,除考虑自己的车速、相对速度等因素外,还必须考虑不同环境和不同驾驶员对安全距离模型的影响。只有这样,才能提高分析

判断的准确性,从而方便不同的驾驶员使用,最终达到提高系统预警的效率与功能。

参考文献:

- [1] 钱宇斌,胡宇.现代汽车安全技术[M].上海:上海交通大学出版社,2006.
- [2] 余志生.汽车理论[M].北京:机械工业出版社,2005.
- [3] 郑安文.高速公路行车间距分析与防追尾装置开发[J].武汉理工大学学报,2002,24(9):62-65.
- [4] 钟勇,姚剑锋.行进中车辆临界安全车距的讨论[J].湖南大学学报:自然科学版,2001,28(6):54-58.
- [5] 李湘闽,唐宏.高速公路汽车制动力学模型数字仿真[J].系统仿真学报,2007,19(2):668-670.

Research on Anti-collision Safe Running of Vehicle on Highway

WU Xin-ye, GE Xiao-hong, HUANG Hong-wu *

(School of Physics and Mechanical & Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract : To improve initiative security of vehicle at high speed, according to the characteristics of the accident of highway vehicle, three different safe vehicle gap can be obtained on the basis of the analysis of a vehicle braking process. It can be emulated by using matlab so as to understand fully the relationship between vehicle speed and safe gap at dry road conditions. The simulation results show that the safe running requirement of the vehicle can be acquired. And then the process of the control and implementation of safe running was investigated. Finally the method of warning of safe vehicle gap was advanced based on the level of security of the proposed factor.

Key words : safe vehicle gap; emulation analysis; effect factor; safe running; warning