

文章编号: 1005-0523(2010)05-0063-04

高速公路汽车安全距离模型

杨超, 胡瑜

(华东交通大学 载运工具与装备省部级共建教育部重点实验室, 江西 南昌 330013)

摘要:通过对汽车制动过程的简化与分析, 推导出了汽车制动距离, 建立了高速公路汽车行驶安全距离模型。经过对算例和规定值的比较, 结果表明, 该文所建立的高速公路汽车行驶安全距离模型可以根据不同的道路、天气环境给出比规定值更准确的汽车行驶安全距离。

关键词:安全距离模型; 高速公路; 汽车

中图分类号: U461.91

文献标识码: A

随着高速公路的不断发展, 高速公路发生追尾的事故也随之增加^[1]。为了减少此类事故的发生, 汽车在高速公路上行驶时前后两车之间的间距必须保持适当。我国 1994 年 12 月 22 日颁布的《高速公路交通管理办法》中的第十五条对两车行车间距有明确规定: 机动车在高速公路上正常行驶时, 同一车道的后车与前车必须保持足够的行车间距, 正常情况下, 当行驶速度达到 $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时, 行车间距为 100 m 以上; 速度为 $70 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时, 行车间距为 70 m 以上; 遇上大风、雪、雾或者路面结冰时, 应当减速行驶。但此规定没有指出在不同环境下的安全行车间距, 规定中给定的值也是根据以前的经验得到的, 并不精确。现在高速公路、汽车、测距技术^[2]等等都发展的很快, 在高速公路行车过程中, 为了较准确预报行车间距, 及时给驾驶人员发出警报, 防止交通事故的发生和提高行车效率, 有必要建立一个较准确的适应高速公路多种环境状况的汽车行驶安全距离模型。虽然以前的研究建立了汽车安全距离模型, 但都缺乏算例验证, 也没有与规范规定值进行比较^[3-5], 本文将推导出的安全距离模型用算例来验证, 并与规范规定值做比较。

1 汽车制动过程及制动距离

1.1 汽车制动过程

汽车制动过程是由制动力 F 、制动减速度 a_j 与制动时间 t 的关系图来表示的, 全过程包括四个阶段, 如图 1 所示^[6-7]: 驾驶员作出反应阶段 ac , 制动器起作用阶段 cf , 持续制动阶段 fg 和放松制动器阶段 gh , 所经历的时间分别为 t_1, t_2, t_3, t_4 , 所走过的距离分别为 S_1, S_2, S_3, S_4 。图 1(a) 为实测汽车制动过

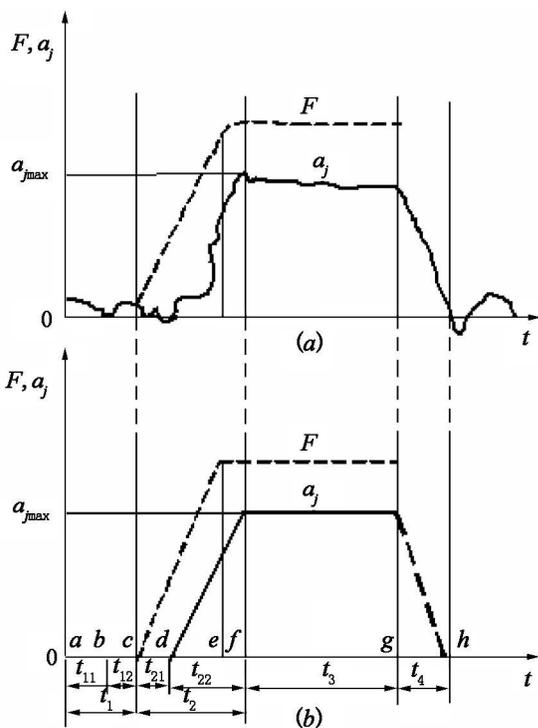


图 1 汽车制动过程

收稿日期: 2010-07-16

作者简介: 杨超(1969—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为载运工具状态检测与控制。

程,图 1(b)为简化后的汽车制动过程。在简化后的过程中, a 点表示驾驶员接收紧急停车信号,但没有作出动作; b 点表示驾驶员移动右脚; c 点表示驾驶员踩踏板; d 点表示制动器开始起作用; e 点表示制动力达到最大; f 点表示汽车达到最大加速度; g 点表示制动力驾驶员松开踏板汽车完全停车; h 点表示制动力完全消失。 ac 过程要经过 ab 和 bc 两个过程, ab 过程要经过时间 t_{11} , bc 过程要经过时间 t_{12} ,则 $t_1 = t_{11} + t_{12}$,同理 $t_2 = t_{21} + t_{22}$ 。

1.2 汽车制动距离的确定

制动距离是指车子从驾驶员踩制动踏板到完全停车所走过的距离,即制动距离 $S = S_2 + S_3$ 。由图(b)可知, cd 过程是匀速运动, df 过程是减速度线性增长运动, fg 过程是匀减速运动。

在 cd 过程中行驶的距离为 S_{21}

$$S_{21} = v_0 t_{21} \quad (1)$$

其中, v_0 是初速度。

在 df 过程中行驶的距离为 S_{22} ,因为 df 过程是减速度呈线性增长的过程,则有

$$dv = k dt \quad (2)$$

$$\int ds = \int (v_0 + 0.5 kt^2) dt \quad (3)$$

在条件 $v_{t=0} = v_0$ 下,从式(2)可得

$$v = 0.5 kt^2 + v_0 \quad (4)$$

设 f 点处汽车的速度为 v_f ,则有

$$v_f = v_0 + 0.5 kt_{22}^2 \quad (5)$$

式中, $k = -a_{j\max} / t_{22}$ 。

在条件 $S_{t=0} = 0$ 下,从式(3)可得

$$S = v_0 t + kt^3 / 6 \quad (6)$$

当 $t = t_{22}$ 时(即 df 过程经历的时间),汽车行驶的距离为

$$S_{22} = v_0 t_{22} + kt_{22}^3 / 6 \quad (7)$$

在 fg 过程中,因该过程是以最大减速度 $a_{j\max}$ 做匀减速运动的,且到达 g 点时速度为0,所以行驶的距离 S_3 为

$$S_3 = 0.5 v_f^2 / a_{j\max} \quad (8)$$

制动距离 S 为

$$S = v_0 (t_{21} + \frac{1}{2} t_{22}) - \frac{1}{24} a_{j\max} t_{22}^2 + \frac{v_0^2}{2 a_{j\max}} \quad (9)$$

将车速的单位 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 转换为 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,式(9)化为

$$S = \frac{v_0}{3.6} (t_{21} + \frac{1}{2} t_{22}) - \frac{1}{24} a_{j\max} t_{22}^2 + \frac{v_0^2}{25.92 a_{j\max}} \quad (10)$$

2 汽车安全距离模型

在这里引入报警距离的概念,报警距离是制动距离与自车驾驶员作出反应这段时间里汽车行驶的距离之和。如图2所示,自车与目标车相距 S_0 ,此时 S_0 为报警距离,即安全距离;自车驾驶员经过反应阶段和制动阶段后汽车行驶的距离为 S_a ,此时目标车行驶了 S_b ,最后两车相距 L 。

$$S_0 = S_a - S_b + L \quad (11)$$

式中, $S_a = v_1 t_1 + S_1$; $S_b = S_2$ 。

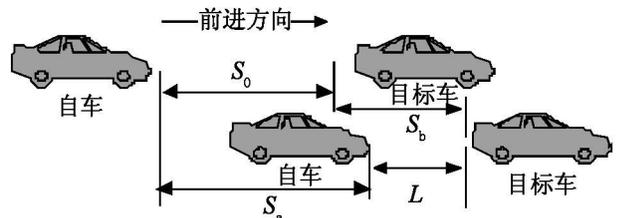


图2 两车安全车距示意图

所以

$$S_0 = \frac{v_1}{3.6}(t_1' + t_{21}' + \frac{1}{2} t_{22}') - \frac{a_{1jmax}}{24} t_{22}'^2 + \frac{v_1^2}{25.92 a_{1jmax}} - \frac{v_2}{3.6}(t_{21}'' + \frac{1}{2} t_{22}'') + \frac{1}{24} a_{2jmax} t_{22}''^2 - \frac{v_2^2}{25.92 a_{2jmax}} + L \quad (12)$$

式中: v_1, v_2 分别为自车与目标车的初速度; t_1' 为自车驾驶员的反应时间; t_{21}', t_{21}'' 分别为自车与目标车的制动器开始起作用所经历的时间; t_{22}', t_{22}'' 分别为自车与目标车加速度增长所经历的时间; a_{1jmax}, a_{2jmax} 分别为自车与目标车的最大加速度; L 为停车后所要保持的距离。

驾驶员的反应时间一般为 $0.3 \sim 1.0$ s, 在这里取 0.8 s, 即 $t_1' = 0.8$ s; 因为汽车的制动器作用时间一般 $0.2 \sim 0.9$ s 之间, 式(12)中的 $(a_{2jmax} t_{22}''^2 - a_{1jmax} t_{22}'^2)/24$ 可忽略不计。从驾驶员脚踏板到制动力开始起作用的时间一般约为 0.045 s, 式(12)中的 t_{21}', t_{21}'' 也取 0.045 s; 为了更好的保证两车不会相碰, 取自车的制动器作用时间 0.9 s, 目标车的制动器作用时间为 0.2 s, 则 $t_{22}'' = 0.2 - 0.045 = 0.155$ s, $t_{22}' = 0.9 - 0.045 = 0.855$ s。

一般情况下, 自车的最大减速度比目标车的最大减速度大, 为了更保险, 取两个最大减速度相等为 a , 即 $a = a_{1jmax} = a_{2jmax}$, 式(12)中的 L 一般为 $2 \sim 5$ m, 这里取 5 m。则

$$S_0 = 0.3535 v_1 - 0.034 v_2 + \frac{v_1^2 - v_2^2}{25.92 a} + 5 \quad (13)$$

设 $v_r = v_1 - v_2$, 又知 $a = \varphi g$, φ 为路面附着系数, 代入式(13)得报警距离

$$S_0 = 0.3195 v_1 + 0.034 v_r + \frac{v_r(2v_1 - v_r)}{254.016 \varphi} + 5 \quad (14)$$

不同路面、不同环境的附着系数不同; 高速公路的路面有 3 种: 水泥路面, 沥青路面, 积雪路面。表 1 列出了这 3 种路面在不同环境下的路面附着系数^[8-9]。

表 1 不同路面不同环境下的附着系数

不同路面	附着系数	
	干燥	潮湿
水泥路面	0.60~0.75	0.45~0.65
沥青路面	0.55~0.70	0.40~0.65
积雪路面	0.20~0.35	—

3 算例

(1) 假设自车的速度 $v_1 = 100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, 目标车静止 $v_2 = 0$, 则 $v_r = 100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, 将它们及附着系数代入式(14), 可得各种环境下的汽车行驶安全距离:

- 在水泥路面干燥环境下: $S_0 = 90.84 \sim 103.97$ m;
- 在水泥路面潮湿环境下: $S_0 = 98.92 \sim 125.84$ m;
- 在沥青路面干燥环境下: $S_0 = 94.59 \sim 109.94$ m;
- 在沥青路面潮湿环境下: $S_0 = 98.92 \sim 136.78$ m;
- 在积雪路面干燥环境下: $S_0 = 150.84 \sim 235.2$ m。

(2) 假设自车的速度 $v_1 = 70 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, 目标车静止 $v_2 = 0$, 则 $v_r = 70 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, 将它们及附着系数代入式(14), 可得各种环境下的汽车行驶安全距离:

- 在水泥路面干燥环境下: $S_0 = 55.47 \sim 61.90$ m;
- 在水泥路面潮湿环境下: $S_0 = 59.43 \sim 72.62$ m;
- 在沥青路面干燥环境下: $S_0 = 57.31 \sim 64.82$ m;
- 在沥青路面潮湿环境下: $S_0 = 59.43 \sim 77.98$ m;
- 在积雪路面干燥环境下: $S_0 = 84.86 \sim 126.20$ m。

可以看出: 在自车速度、相对速度一样的情况下, 积雪路面在干燥环境下的汽车行驶安全距离最大, 其

它路面及不同环境下的汽车行驶安全距离都是在规定值上下浮动,且本文计算的距离更具体。查阅汽车检测站的数据,不同路况下的实际检测数据都落在本文计算出来的相应路况的安全距离范围之内。

4 结束语

安全距离对于高速公路汽车行驶而言非常重要,汽车安全距离模型对于汽车主动避撞报警系统的设计和实际应用具有非常重要的作用。如果汽车装有能够测出前后两车相对距离的装置,根据两车的相对速度、路面与天气情况,即可计算出报警距离。比较实测距离与报警距离的大小,若实测距离小于报警距离,则报警装置要发出报警,反之,不用报警,汽车仍按原状态行驶。

参考文献:

- [1] Answering measure Radar for Expressway Automotive Anti-collision System Application[C]. Industrial Electronics and Application (I-CIEA) 2008. 3rd IEEE Conference, 2008.
- [2] 钟勇,姚剑峰. 现代汽车的四种测距方法[J]. 汽车工业研究, 2001(2): 38-40.
- [3] 陈光武,侯德藻,李晓霞,等. 高速公路实用安全车距计算模型[J]. 人类工效学, 2001, 7(1): 41-44.
- [4] 钟勇,姚剑峰. 行进中国辆临界安全车距的探讨[J]. 湖南大学学报:自然科学版, 2001, 8(6): 54-58.
- [5] 杨翠萍,官慧峰. 高速公路汽车防撞系统的安全行车距离研究[J]. 自动化仪表, 2008, 29(9): 19-21.
- [6] 余志生. 汽车理论[M]. 北京:机械工业出版社, 2009.
- [7] 应世杰. 高速公路汽车防撞预警系统的开发研究[D]. 西安:长安大学, 2004.
- [8] 杨翠萍,官慧峰. 高速公路汽车防撞系统的安全行车距离研究[J]. 自动化仪表, 2008, 29(9): 19-21.
- [9] 谷伟. 高速公路上汽车主动安全系统的研究[D]. 上海:上海交通大学, 2000.

Automobile Safety Distance Model on Highway

Yang Chao, Hu Yu

(Key Laboratory of Conveyance and Equipment, Ministry of Education, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Automobile braking distance is built up by the simplification and analysis of automobile braking process, the safety distance model of highway is proposed. comparison between the example results and the specified value shows that the built driving safety distance model of highway can give more accurate safety distance than the specified value in different kinds of road and weather.

Key words: safety distance model; highway; automobile

(责任编辑 王全金 姜红贵)