

文章编号: 0258-2724(2010)01-0136-05 DOI: 10.3969/j.issn.0258-2724.2010.01.023

## 雾天交通限速计算

史桂芳, 袁浩, 程建川  
(东南大学交通学院, 江苏南京 210096)

**摘要:** 为获得驾驶者遇到突发障碍物时制动特点的数据, 在专业试车场地通过专用设备进行了试验. 试验表明, 制动反应时间为 2.0 s(良好路况)或 2.5 s(一般路况)可满足大多数驾驶者的需要. 将车辆的制动过程简化为制动力增长阶段和持续制动阶段, 给出了雾天限制车速的计算方法. 各种能见度下对应的限速计算值和推荐值为雾天的交通限速控制措施提供了理论依据. 推荐值与美国犹他州相应规范的推荐值接近, 与我国《道路交通安全法》中对低能见度时的车辆限速规定相比偏大.

**关键词:** 交通工程; 限速; 制动模型; 反应时间; 能见度; 雾天

**中图分类号:** U491.4 **文献标识码:** A

## Calculation of Speed Limit on Foggy Days

SHI Guifang, YUAN Hao, CHENG Jianchuan  
(School of Transportation, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** Experiments were conducted with professional equipments at motordrome to acquire the braking characteristic data of drivers who meet unexpected obstacles. The results show that a braking-reaction time of 2.0 s in good road traffic conditions and 2.5 s in general road traffic conditions satisfy most drivers' demands. A calculation method of speed limit on foggy days was then developed by simplifying the braking process into the braking-force growing phase and the continuous braking phase, to calculate the speed limits in different visibility conditions. The calculated values and recommended values of speed limits for various visibilities provide a theoretical basis for controlling the speed limit of vehicles on foggy days. The recommended values are approximately equal to those specified in the speed limit guides of Utah, USA and bigger than those specified in the Law of the People's Republic of China on Road Traffic Safety.

**Key words:** traffic engineering; speed limit; braking model; reaction time; visibility; foggy days

汽车驾驶员在行车过程中有 90% 的信息是依靠视觉获得, 在能见度良好的情况下车辆保持足够的安全车距对于行车安全有着极为重要的意义. 但是, 雾天的能见度会大幅下降, 并造成驾驶员产生犹豫、疏忽、甚至错觉<sup>[1,2]</sup>. 由于雾会使光线发生散射, 并吸收光线, 使得驾驶员估计车距、车速不准确, 对交通标志、路面设施识别困难, 容易造成追尾<sup>[3,4]</sup>; 由于不同路段大雾的严重程度可能有所不

同, 驾驶员很难根据各路段不同的能见度距离及时调整车速和车间距. 此外, 由于判断环境复杂, 难以迅速、及时、准确地判断, 使得驾驶员心理压力增大<sup>[5~8]</sup>, 判断时间增加, 一旦发生意外难以及时采取适当措施<sup>[9]</sup>. 因此, 研究雾天对行车安全的影响, 寻找事故规律, 提出相应的安全保障对策, 减少和预防雾天事故发生, 对保障驾驶人员生命和财产安全具有重要的现实意义<sup>[10,11]</sup>.

收稿日期: 2009-05-25

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划资助项目(2007BAK35B02)

作者简介: 史桂芳(1982-), 女, 博士研究生, 研究方向为路线设计、道路安全等, 电话: 13814174509, E-mail: shigf05100504@163.com

美国联邦公路管理局运输处推出了道路天气管理计划,推动了美国各州在各种恶劣天气条件下高速公路通行管理技术的发展和运用,形成了各州高速公路恶劣天气通行管理技术特色<sup>[12,13]</sup>.文献[14]结合仿真实验,基于停车视距条件和交通标志可视距离条件,进行了低能见度下限制车速车距的研究,得到雾天高速公路车速车距控制值.文献[15]针对各类不良天气条件下的车速限制问题进行了研究.本文在上述工作的基础上,研究了新的制动模型,并测定了相应的制动参数,给出了各能见度值下对应的限速计算值和推荐值,为雾天低能见度的交通限速控制措施提供了理论依据.

### 1 雾天事故原因分析

能见度是根据目标和背景之间的亮度反差,按实际能见度及其极限值之间的关系确定的.当光流在雾层中穿行时,小部分被吸收,大部分被散射.光流减弱的主要原因是雾颗粒散射.在雾天观察光线下的道路和目标时,在障碍物表面和路面的亮度上,加有光束散射的亮度(称为模糊亮度).雾天导致能见度下降.

$$K = \frac{B_0 - B_b}{B_b}, \tag{1}$$

$$K' = \frac{(B_0 + b) - (B_b + b)}{B_b + b} = \frac{B_0 - B_b}{B_b + b}, \tag{2}$$

式中:  $K$  为目标与背景之间的实际反差;  
 $K'$  为雾中感受到的反差度;

$B_b$  为背景亮度;  
 $B_0$  为目标亮度;  
 $b$  为模糊亮度.

$K > K'$  时,驾驶员视线层内的亮度越大,  $K'$  越小.如果  $K$  比临界值(观察目标刚刚可见时目标亮度与背景亮度之差)大,可以保证能见度,那么在模糊亮度值不大时,反差度  $K'$  的数值就可能低于临界值,能见度变为零.因此,雾天对能见度的影响可归纳为两点:一是光线减弱引起道路和障碍物表面的照度下降;二是散射光线形成的沿驾驶员视线的发光大气层导致反差度显著下降.

高速行驶的车辆在进入能见度突然变差的雾区时,驾驶员做出的反映一般是迅速减速.这样,减速过慢则会与前方在雾区里已减速或停下的车辆相撞;减速过快时,行驶在后面的驾驶员常会因视线不清,刹车不及而发生追尾相撞.一旦有两辆车相撞,因雾中能见度低下,后继快速行驶车辆即使能识别到前方目标,但由于车距太近、车速太快,采取刹车为时已晚,因而发生连环撞车事件.也有的驾驶员在雾区突然识别出前方事故车辆,同时感到刹车距离不够而急打方向绕过事故车辆,则可能会撞到公路的护栏,或与另一车道上行驶的车辆相撞.

### 2 雾天限制车速计算

雾天能见度降低对行车安全的影响如图 1 所示.

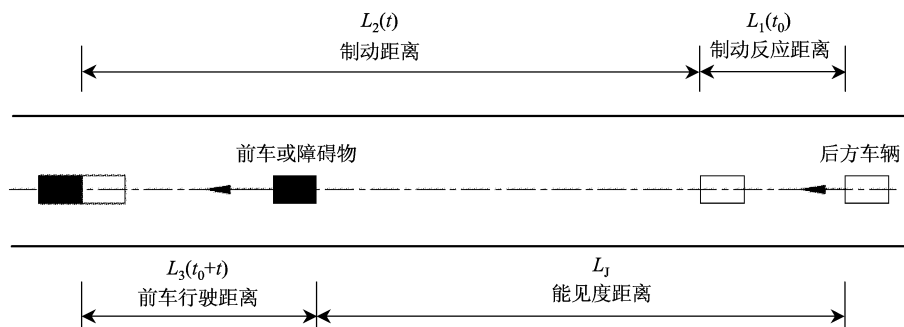


图 1 雾天安全视距示意图

Fig. 1 Schematic diagram of safe sight distance on foggy days

车辆安全行驶不发生追尾碰撞事故的约束如下:

$$L_1(t_0) + L_2(t) - L_3(t_0 + t) \leq L_j, \tag{3}$$

式中:  $L_1$  为制动反应距离;  
 $L_2$  为制动距离;  
 $L_3$  为前方车辆在后方车制动并停止前行驶的距离;  
 $L_j$  为能见度距离;

$t_0$  为制动反应时间;  
 $t$  为制动时间.

当前方为固定障碍物如滑落山石、散落货物、事故车辆等时,式(3)即转变为:

$$L_1(t_0) + L_2(t) \leq L_j. \tag{4}$$

因此,有必要在相应的能见度条件下进行车辆限速控制,直至封闭交通.从安全的角度出发,应以

式(4)作为极限约束条件.

制动反应距离  $L_1$  取决于制动反应时间  $t_0$  和制动前运行车速  $v_0$ , 即  $L_1 = v_0 t_0$ .

将  $v$  (单位: m/s) 化为  $V$  (单位: km/h), 得到:

$$L_1 = \frac{V_0 t_0}{3.6}. \quad (5)$$

制动反应时间是指驾驶员从观察到道路前方有一个危险物体需要制动的瞬间到制动实际发生的瞬间所经过的时间. 在一些紧急情况下, 如闪光灯型号指示时, 这个过程几乎在瞬时完成. 而在一般情况下, 由于这个过程中存在人的判断行为, 所以比较复杂. 驾驶员不仅要看到物体, 还需要根据道路和其他背景参照物来判断物体的危险程度、运动特征等. 而这个判断过程的时间长短差异性很大, 还取决于车速、道路类型和环境、车辆和物体的距离、驾驶员本身的视觉敏锐度、驾驶员反应速度、能见度、交通状况、物体的大小和颜色等. 就车速来说, 以较高车速运行的驾驶员的警觉性要高于以较低车速运行的驾驶员; 就道路类型和环境来说, 和冲突较少、控制出入的公路相比, 城市道路上车辆发生冲突可能性大, 所以驾驶人员的警觉性也有所提高.

为获得驾驶者在遇到突发障碍物时制动特点的数据, 在专业试车场地通过专用设备进行了试验. 主要试验设备为制动检测仪、计算机及相关软件、测距仪器等. 试验车型为江淮瑞鹰 6450M2T (轴距 2 620 mm, 轮距 1 540 mm, 质量 1 960 kg, 动力 100 kW, 排量 2.0 L). 该制动检测系统可对汽车的制动性能进行实时 (时间间隔 0.001 s) 检测. 测试仪使用踏板力传感器测试踏板力、使用非接触光电传感器测试汽车的整车实时速度, 能实时显示汽车速度 (精度 1%)、制动踏板力等参数, 能自动进行各种数据处理, 并按汽车制动系统结构、性能和试验方法国家标准 (GB12676-1999) 给出时间-速度-踏板力数据及相应曲线. 数据包括最大踏板力、平均减速度、制动距离、制动时间、制动初速度等参数. 制动检测仪由光电传感器、踏板力传感器、12 V 蓄电池、采集显示系统等组成.

试验要求被测试者 (驾驶员) 在看到警示灯亮起时, 尽快制动车辆至停止, 并且车辆应保持在原先车道内. 为了避免被测试者因为心理预期而产生的预判操作, 一方面警示灯设置位置不固定; 另一方面, 故意不打开警示灯的几率在 20% 以下. 以此加强突然性, 降低驾驶人员的期待性. 以警示灯亮

起瞬间到制动力开始产生瞬间的时间作为制动反应时间. 试验结果表明, 95% 的试验中最大制动反应时间为 1.92 s, 平均值为 1.03 s, 标准偏差 0.218. 由此可见, 制动反应时间取值为 2.0 或 2.5 s 可满足绝大多数驾驶者的需要. 在设计时可针对不同的情况灵活取值, 如在标志标线设置完善、路况较好、驾驶员预期判断容易的路段可选择 2.0 s 作为制动反应时间; 而在一般路段, 出于安全考虑, 应设置制动反应时间为 2.5 s.

驶过制动距离为  $L_2$ , 车速从初速度  $V_0$  逐渐减小为零. 在此过程中, 制动力变化分为两个阶段: 制动力增长阶段和持续制动阶段. 在制动力增长阶段, 减速度从零上升至最大值, 可简化为线性变化; 在持续制动阶段, 减速度保持在最大值直至车辆停止. 这两个阶段中汽车行驶过的距离为  $l_1$  和  $l_2$ , 对应的时间为  $t_{01}$  和  $t_{02}$ .

在制动力增长阶段内, 任一时刻  $T$  的汽车减速度为:

$$a = \frac{dV}{dT} = -\frac{a_{\max}}{t_{01}} T, \quad (6)$$

式中:  $a_{\max}$  为最大制动减速度的绝对值,  $m/s^2$ ;

$t_{01}$  为制动力增长时间, s.

该时间段内任一时刻  $T$  的汽车速度为:

$$\int_{v_0}^v dV = -\int_0^T \frac{a_{\max}}{t_{01}} T dT, \\ v = v_0 - \frac{a_{\max}}{2t_{01}} T^2. \quad (7)$$

在制动力增长阶段内, 车辆行驶的距离为:

$$\int_0^{l_1} dl = \int_0^{t_{01}} v dT, \quad v = \frac{dl}{dt},$$

将式(7)代入上式得

$$\int_0^{l_1} dl = \int_0^{t_{01}} \left( v_0 - \frac{a_{\max}}{2t_{01}} T^2 \right) dT, \\ l_1 = v_0 t_{01} - \frac{a_{\max}}{6} t_{01}^2. \quad (8)$$

由式(7)得到持续制动阶段的起点 (即制动上升时间段末点) 的车速:

$$v_s = v_0 - \frac{a_{\max} t_{01}}{2}, \quad (9)$$

则该阶段内任一时刻  $T$  的车速为:

$$v = v_s - a_{\max} T. \quad (10)$$

车辆在持续制动时间内, 以最大制动减速度  $a_{\max}$ , 将速度从  $v_s$  降低至 0, 用时为  $v_s/a_{\max}$ . 在该时间内, 车辆行驶的距离为:

$$\int_0^{l_2} dl = \int_0^{v_s/a_{\max}} v dT, \quad v = \frac{dl}{dT}.$$

将式(10)代入,得:

$$l_2 = \frac{v_s^2}{2a_{\max}}.$$

再将式(9)代入上式,得:

$$l_2 = \frac{v_0^2}{2a_{\max}} - \frac{v_0 t_{01}}{2} + \frac{a_{\max} t_{01}^2}{8}. \quad (11)$$

由式(8)和式(11),可得到制动距离为:

$$L_2 = l_1 + l_2 = \frac{v_0 t_{01}}{2} + \frac{v_0^2}{2a_{\max}} - \frac{a_{\max} t_{01}^2}{24}.$$

由于  $t_{01}^2$  趋向于 0,可忽略第三项,并将  $v$  化为  $V$ ,得到:

$$L_2 = \frac{V_0 t_{01}}{7.2} + \frac{V_0^2}{25.92a_{\max}}. \quad (12)$$

将式(5)和式(12)代入式(4),得到:

$$\frac{V_0}{3.6} \left( t_0 + \frac{t_{01}}{2} \right) + \frac{V_0^2}{25.92a_{\max}} \leq L_j. \quad (13)$$

根据 JTG B01 - 2003 公路工程技术标准和 JTG D20 - 2006 公路路线设计规范的规定,将制动反应时间  $t_0$  取为 2.5 s;根据 Burckhardt 的研究结果,取制动增长时间  $t_{01} = 0.2$  s; NCHRP REPORT 400 的研究表明,90%的驾驶员在意外发现前方道路有障碍物需要紧急停车时,采用的减速度大于  $3.4 \text{ m/s}^2$ ,本文采用该值作为最大制动减速度  $a_{\max}$  的绝对值.代入式(13),并转换得到:

$$V_0 \leq -31.82 + 44.05\sqrt{0.52 + 0.045L_j}. \quad (14)$$

由式(14)计算出雾天低能见度的限速值,结果见表 1.

表 1 中的推荐值与国外相应规范的推荐值大致相等.例如:美国犹他州指标(表 1).

田纳西州在能见度为 146.3 ~ 402.3 m 时,限速为 80.4 ~ 105.4 km/h;能见度为 74.0 ~ 146.3 m 时,限速为 56.3 km/h;能见度小于 74.0 m 时,关闭道路.

北卡罗莱纳州在能见度小于 213.0 m 时,要求启动照明;能见度 137.0 ~ 213.0 m 时,限速 45 km/h;能见度 92.0 ~ 137.0 m 时,限速 35 km/h;能见度小于 92.0 m 时,限速 25 km/h,并可能关闭道路.

华盛顿州在能见度大于 800.0 m 时,限速 104.5 km/h;能见度小于 320.0 m 时,限速 88.4 km/h;能见度小于 160.0 m 时,限速 72.4 km/h.

表 1 雾天低能见度限速值

Tab. 1 Speed limits on foggy days with low visibility

能见度 $L_j/\text{m}$	限速计算值 $/(\text{km}\cdot\text{h}^{-1})$	推荐值 $/(\text{km}\cdot\text{h}^{-1})$	美国犹他州限速 值/ $(\text{km}\cdot\text{h}^{-1})$
<50	封路低能见度 >41.49	禁行	40
50 ~ 100	限速低能见度 41.49 ~ 66.88	40 ~ 65	50
100 ~ 150	限速低能见度 66.88 ~ 86.95	65 ~ 85	65
150 ~ 200	限速低能见度 86.95 ~ 104.09	85 ~ 100	80
200 ~ 500	警示低能见度, 正常行驶	正常行驶	正常行驶

本推荐值与我国《道路交通安全法》中对低能见度时的车辆限速规定相比偏大<sup>[8]</sup>,这主要是因为理论计算与政策安全性控制要求的差异性造成.

### 3 结 论

(1) 雾天对能见度的影响可归纳为光线减弱引起道路和障碍物表面的照度下降,以及散射光线形成的沿驾驶员视线的发光大气层引起反差度显著下降.

(2) 通过对制动反应距离和制动距离的分析计算,得出了雾天低能见度条件下的车速限速计算公式,并给出了各能见度值下对应的限速计算值和推荐值,为雾天低能见度的交通限速控制措施提供了理论依据.

### 参考文献:

- [1] MATTHEW T F. CLIMATOLOGY D F. Chicago O'hare internation airport july 1996-april 2002[J]. Bulletin of the America Meteorological Society, 2004(4): 34.
- [2] MARIUSZ P, ISMAIL G, PATRICK K. Analysis and modeling of a dense fog[J]. Bulletin of the America Meteorological Society, 2004(1): 34.
- [3] 骆勇,魏朗. 雾天与高速公路交通安全[J]. 人类工效学,1995,5(1): 33-35.  
LUO Yong, WEI Lang. Fog and highway traffic safety [J]. Chinese Journal of Ergonomics. 1995, 5(1): 33-35.
- [4] 柳本民,张丽君. 不良天气环境下高速公路运营安全与管理[J]. 上海公路. 2006(1): 55-59.  
LIU Benming, ZHANG Lijun. The research on road (下转第 159 页)