

冰雪路面公路平曲线路段限速仿真

李松龄, 裴玉龙

(哈尔滨工业大学 交通科学与工程学院, 150090 哈尔滨)

摘要: 为了提高冬季北方地区公路的行车安全,减少交通事故,对冰雪路面平曲线路段展开限速研究.应用车辆运动学理论,考虑驾驶员在弯道驾驶车辆的特点,分析车辆在冰雪路面转弯行驶特性,建立车辆在平曲线路段行驶时的运动学模型.选择载货汽车和轿车两种车型,松软雪路面、压实雪路面和冰路面3种路况,分别建立车辆行驶速度与平曲线设计指标的关系模型.选取6%、8%和10%3种超高值的平曲线路段,利用Matlab仿真技术对车辆限速模型进行求解,并对车速与圆曲线半径及超高的相关性进行分析.以此为基础,提出车辆在松软雪路面、压实雪路面和冰路面3种路况下,不同圆曲线半径的相应安全行驶速度,为科学合理确定冰雪路面平曲线路段的车辆限速值提供理论依据.

关键词: 车辆限速;冰雪路面;平曲线路段

中图分类号: **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2012)10-0066-04

Speed limit simulation on highway horizontal curve section under the condition of ice and snow pavement

LI Song-ling, PEI Yu-long

(School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, 150090 Harbin, China)

Abstract: In order to improve the highway safety and reduce traffic accidents in the northern region in winter, speed limit of horizontal curve section on ice and snow pavement was studied. Applying theory of vehicle kinematic, and considering drivers' driving characteristics at the curve of the road, vehicle's turning characteristic were analyzed on the snow and ice pavement, and the vehicle's kinematics model on horizontal curve section was established. Freight truck and passenger car were selected as experimental vehicles, and loose snow pavement, compacted snow pavement and ice pavement were selected as experimental pavement. The relation models were established between speed and horizontal curve design index. Selecting three kinds of curve sections with the superelevation value of 6%, 8% and 10%, vehicle speed-limit control model was solved by Matlab simulation technology, the correlation of speed, circular curve radius and superelevation was analyzed. Safe driving speeds according to different circular curve radius were given on loose snow pavement, compacted snow and ice pavement. It can provide theoretical basis for determining scientific and reasonable speed limit value on highway horizontal curve section under the condition of ice and snow pavement.

Key words: speed limit; ice and snow pavement; horizontal curve section

目前国内外公路限速主要有全线限速、特殊点段局部限速、分路段限速和可变限速等几种方法^[1-2]. 全线限速是目前我国采用的最为广泛的

一种限速方法,主要依据设计速度对整条路实施单一值的限速^[3]. 全线限速设计简单,实施方便,但是其限速值不能如实反映车辆实际行驶条件.特别在冬季我国北方地区,车辆在冰雪路面平曲线路段行驶时,由于离心力的存在,路面附着系数低,使车辆极易出现侧滑、失去转向等现象,导致此路段经常发生交通事故^[4-9]. 本文以冰雪路面

收稿日期: 2012-05-21.

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20070213013).

作者简介: 李松龄(1963—),女,副教授;

裴玉龙(1961—),男,教授,博士生导师.

通信作者: 李松龄, lisongling@hit.edu.cn.

公路平曲线路段为研究对象,选取载货汽车和轿车两种车型,建立车辆行驶速度与平曲线设计指标的关系模型,并对模型进行仿真,确定车辆在冰雪路面平曲线路段安全行驶速度,提出相应的限速值,为科学合理地确定冰雪路面平曲线路段的车辆限速值提供理论依据,对减少平曲线路段交通事故具有重要意义。

1 车辆平曲线路段行驶时的运动学模型

1.1 车辆在冰雪路面转弯行驶特性分析

车辆进入平曲线路段(弯道)行驶时,通常处于减速行驶状态,由于冰雪路面附着系数低以及车辆受到离心力作用等原因,制动时车辆极易出现侧滑、失去转向甚至出现侧翻等现象,考虑汽车制动时的方向稳定性,通常在平曲线路段不进行制动,往往驾驶员在进入弯道之前就进行制动减速。因此,车辆在冰雪路面平曲线路段行驶时既不受驱动力,也不受制动力的作用,而依靠惯性转弯行驶。另外,车辆在冰雪路面行驶时滚动阻力系数较小,在转弯行驶时速度较低,因此忽略滚动阻力和空气阻力。

1.2 车辆转弯运动学模型

车辆转弯行驶受力情况如图 1、2 所示,假设车轮是刚性的,方向盘转角与前轮转角成比例关系,前轴中点的速度方向与纵轴夹角为 $\delta = 0.5(\delta_L + \delta_R)$,其中 δ_L 、 δ_R 分别为左右前轮的转角,建立直角坐标系 XOY ,如图 1 所示。

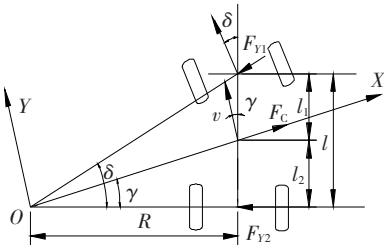


图 1 水平路面汽车转弯时受力情况

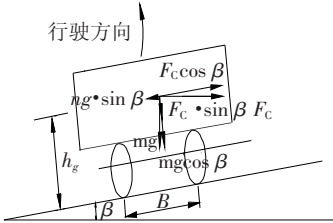


图 2 超高路面汽车转弯时受力情况

由此可得如下车辆转弯运动学模型为

$$\begin{cases} m \frac{dv}{dt} = \sin \gamma \cdot F_{y2} - \sin(\delta - \gamma) \cdot F_{y1}, \\ \cos \beta \cdot F_c = \sin \beta \cdot mg + \cos(\delta - \gamma) F_{y1} + \cos \gamma \cdot F_{y2}. \end{cases} \quad (1)$$

前轴法向反力为

$$F_{z1} = \frac{(\cos \beta \cdot mg + \sin \beta \cdot F_c) l_2}{l} - \frac{mh_g}{l} \frac{dv}{dt}. \quad (2)$$

后轴法向反力为

$$F_{z2} = \frac{(\cos \beta \cdot mg + \sin \beta \cdot F_c) l_1}{l} + \frac{mh_g}{l} \frac{dv}{dt}. \quad (3)$$

车辆转弯时所受到离心力为

$$F_c = m \cdot \frac{v^2}{R}. \quad (4)$$

其中: F_{y1} 、 F_{y2} 为前、后轴所受的侧向力, N; F_c 为离心力, N; v 为车速, km/h; m 为汽车总质量, kg; l 为汽车轴距, m; l_1 、 l_2 分别为汽车质心至前后轴的距离, m; h_g 为质心高度, m; B 为轮距, m; β 为假设超高横坡的坡度角; γ 为汽车质心的速度方向与纵轴夹角。

2 车辆平曲线路段行驶时的速度计算模型

车辆转弯行驶时,受到侧向力的作用,如图 1 所示,侧向力与横向附着系数及法向反力关系为

$$F_{y1} = \varphi_Y \cdot F_{z1}, \quad (5)$$

$$F_{y2} = \varphi_Y \cdot F_{z2}. \quad (6)$$

式中: φ_Y 为横向附着系数。

将式(5)、(6)代入式(1)中,得

$$\begin{cases} mV' = \sin \gamma \cdot \varphi_Y F_{z2} - \sin(\delta - \gamma) \cdot \varphi_Y F_{z1}, \\ \cos \beta \cdot F_c = \sin \beta \cdot mg + \cos(\delta - \gamma) \cdot \varphi_Y F_{z1} + \cos \gamma \cdot \varphi_Y F_{z2}. \end{cases} \quad (7)$$

将式(2)~(4)代入式(7)中整理得到车辆行驶速度与圆曲线半径和横向坡度角的关系模型为

$$\begin{cases} \frac{dv}{dt} = \frac{[\sin \gamma \cdot l_1 - \sin(\delta - \gamma) \cdot l_2] (\cos \beta \cdot Rg + \sin \beta v^2) \varphi_Y}{R \{ l - [\sin \gamma + \sin(\delta - \gamma)] h_g \varphi_Y \}}, \\ \frac{dv}{dt} = \frac{l (\cos \beta v^2 - \sin \beta Rg) - \varphi_Y (\cos \beta Rg + \sin \beta v^2) [\cos(\delta - \gamma) l_2 + \cos \gamma \cdot l_1]}{R \varphi_Y h_g [\cos \gamma - \cos(\delta - \gamma)]}. \end{cases} \quad (8)$$

式中: $\tan \delta = l/R$; $\tan \gamma = l_2/R$ 。

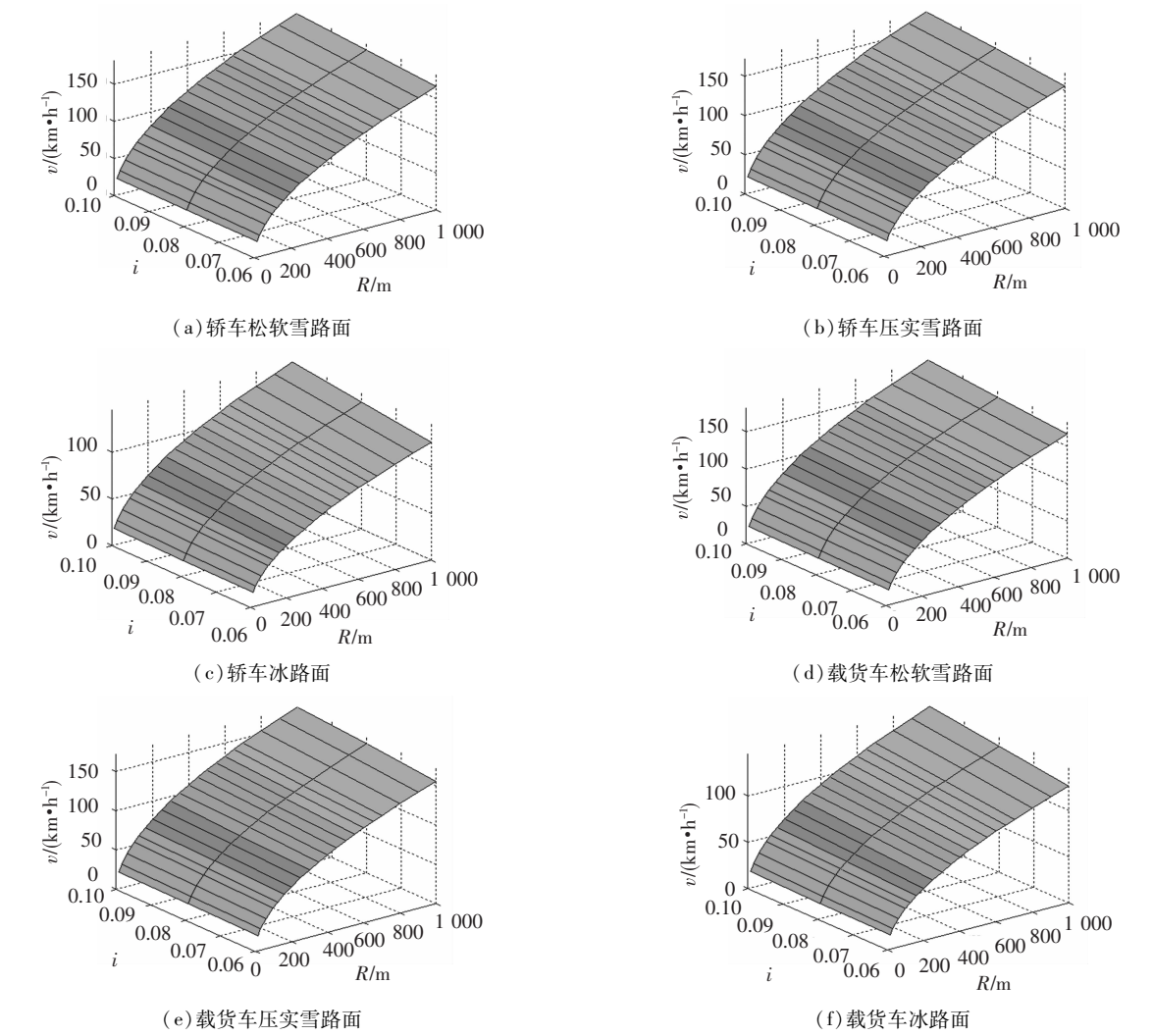


图 3 车辆行驶速度与圆曲线半径及横向坡度的关系

4 结 论

1)通过对冰雪路面公路平曲线路段限速仿真及分析发现,结冰路面行车安全性最差,结冰路面平曲线路段安全行驶车速小于设计速度,车辆在结冰路面行驶应严格限速.

2)积雪路面在圆曲线半径和超高值较小的情况下,需要限速.

3)冰雪路面在圆曲线半径较小的弯道路段应该分车型进行限速.

4)根据冰雪路面的实际状况,通过在平曲线路段设立电子显示屏显示相应限速值,警示驾驶员,减少冰雪路面公路交通事故,提高车辆行驶的安全性.

参考文献:

[1] GEISTEFELDT J. Capacity effects of variable speed limits on German freeways[C]//6th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service. Stockholm, Sweden:Procedia Social and Behavioral Sciences, 2011:48 - 56.

[2] 李长城,吴京梅. 公路限速方法及其适用性分析[J].

交通科技,2006,219(6):65 - 68.

[3] 李娟,姬为宇,蔡加发. 高速公路分段限速值研究[J]. 公路交通科技,2007,5:117 - 119.

[4] 孙凤英,阎春利. 冬季冰雪路面行车速度与安全隐患分析[J]. 森林工程,2010, 26(3):44 - 45,60.

[5] 董斌,唐伯明,刘唐志. 冰雪路面事故成因分析及对策探讨[J]. 交通标准化,2010, 224(7):137 - 140.

[6] 卢涛,郭良久,张义,等. 冰雪天气下高速公路运营安全管理系统研究[J]. 公路交通科技,2008,25(9):358 - 361.

[7] FINDLEY D J, HUMMER J E, RASDORF W, et al. Modeling the impact of spatial relationships on horizontal curve safety[J]. Accident Analysis and Prevention, 2012,45: 296 - 304.

[8] SHANKAR V, MANNERING F, BARFIELD W. Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies[J]. Accident Analysis and Prevention,1995,27(3):371 - 389.

[9] 朱晓龙. 冰雪天高速公路管制方式及措施[J]. 道路与运输,2006,4:29 - 30.

[10] 裴玉龙. 道路勘测设计[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2005.

(编辑 魏希柱)