

1-4-2019

CAM of Possible Accident for Longitudinal Slope Curve of Mountain Freeway

Mingbao Pang

School of Civil and Transportation, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China;

Zhanghui Cai

School of Civil and Transportation, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

CAM of Possible Accident for Longitudinal Slope Curve of Mountain Freeway

Abstract

Abstract: *Based on the analysis of vehicle driving behaviors and accidents, a cellular automaton (CA) simulation model of longitudinal slope curve on mountain freeway with the possible occurrence of traffic accident was established. The model was preliminarily validated via the comparisons between the accident rates in simulation experiments and that in actual statistics for the concrete roads. The possible schemes were determined by setting the different values of road geometric linear parameters. The nonlinear behaviors of traffic flow were simulated and the accident probabilities were obtained. The relations among the accident rate and the parameters' values were discussed. The results of the example show that the conclusion that the accident rate can be declined by increasing the curve bend radius, reducing the curve length, increasing the curve superelevation, and reducing the speed upper limit was proved again; the values of designing parameters can be optimized and the reasonable speed upper limit value can be set in traffic management according to the proposed CAM and the concrete project. The goal of ensuring the traffic safety and decreasing the investment can be realized.*

Keywords

traffic simulation, traffic accident probability, cellular automaton model (CAM), mountain freeway, longitudinal slope curve

Recommended Citation

Pang Mingbao, Cai Zhanghui. CAM of Possible Accident for Longitudinal Slope Curve of Mountain Freeway[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(4): 1414-1422.

一个山区高速公路下纵坡弯道可能事故的 CAM

庞明宝, 蔡章辉

(河北工业大学土木与交通学院, 天津 300401)

摘要: 在下纵坡弯道车辆行驶行为和事故分析的基础上, 建立一个可能发生交通事故的山区高速公路元胞自动机仿真模型, 通过具体道路仿真和实际统计的事故率对比对模型初步验证, 对道路几何线性参数改变下各可能方案进行交通流非线性行为仿真和事故概率的计算, 分析参数值与事故率关系。结果进一步验证了增大弯道半径、缩小弯道长度、增加弯道超高和降低速度限制上限值可达到降低事故率的结论, 依据所提出的元胞自动机仿真模型和具体工程实际, 在设计时对参数值优化, 在管理时设置合理的速度限制上限值, 以达到保证交通安全和降低投资的目的。

关键词: 交通仿真; 交通事故概率; 元胞自动机模型; 山区高速公路; 下纵坡弯道

中图分类号: TP273.5; U491.5

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2018) 04-1414-09

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201804025

CAM of Possible Accident for Longitudinal Slope Curve of Mountain Freeway

Pang Mingbao, Cai Zhanghui

(School of Civil and Transportation, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China)

Abstract: Based on the analysis of vehicle driving behaviors and accidents, a cellular automaton (CA) simulation model of longitudinal slope curve on mountain freeway with the possible occurrence of traffic accident was established. The model was preliminarily validated via the comparisons between the accident rates in simulation experiments and that in actual statistics for the concrete roads. The possible schemes were determined by setting the different values of road geometric linear parameters. The nonlinear behaviors of traffic flow were simulated and the accident probabilities were obtained. The relations among the accident rate and the parameters' values were discussed. The results of the example show that the conclusion that the accident rate can be declined by increasing the curve bend radius, reducing the curve length, increasing the curve superelevation, and reducing the speed upper limit was proved again; the values of designing parameters can be optimized and the reasonable speed upper limit value can be set in traffic management according to the proposed CAM and the concrete project. The goal of ensuring the traffic safety and decreasing the investment can be realized.

Keywords: traffic simulation; traffic accident probability; cellular automaton model (CAM); mountain freeway; longitudinal slope curve

引言

元胞自动机模型 (cellular automaton model,

CAM)作为交通流仿真的工具之一^[1-4], 由于概念简单、规则易于修改、计算效率高等在交通中得到研究和工程应用, 特别是近年来仿真交通事故的产生及概率的计算^[5-7], 为研究事故下交通流特性和安全保证提供技术手段。在发生交通事故高概率的各种情况中, 几何线形条件复杂的道路区段是其中之一^[8-11]。如山区高速公路, 弯道和上



收稿日期: 2016-05-12

修回日期: 2016-06-21;

基金项目: 国家自然科学基金(50478088), 河北省自然科学基金(E2015202266);

作者简介: 庞明宝(1966-), 男, 河南西峡, 博士, 教授, 研究方向为智能交通系统、交通系统工程; 蔡章辉(1991-), 男, 河北邯郸, 硕士生, 研究方向为交通运输规划与管理。

<http://www.china-simulation.com>

• 1414 •

下纵坡多, 特别是货车占一定比重的下纵坡弯道, 往往成为事故多发点。增大弯道半径、减少弯道和纵坡长度等意味着投资的巨大增加。如何针对道路实际, 通过建立能映射其复杂非线性行为的仿真模型对其进行深入研究, 设计时对各参数值优化, 交通管理时提供更加科学合理的管控措施, 以达到节约投资、降低可能发生事故概率已成为需要解决的技术问题之一。

现山区高速公路下纵坡弯道的研究集中于四方面: 一是从车辆动力学角度^[12-13]对其制动性进行运动方程与受力分析, 如车辆侧滑或侧翻等侧向失稳事件, 计算车辆进入弯道的安全速度, 以达到提高车辆通过弯道安全性的目的; 二是通过弯道的半径、转角和路宽等几何线性要素和交通量的影响分析^[8, 14], 建立汽车行驶速度预测模型, 对下纵坡和弯道参数等研究; 三是在对大量下纵坡弯道交通事故调查统计基础上的原因分析^[10-11]。这些为山区高速公路下纵坡弯道的深入研究和工程实践提供基础, 但主要集中于某一方面, 尚需在此基础上通过建立系统化模型特别是微观仿真模型予以实现。四是采用交通流微观仿真模型为工具的较少^[8-9]。梁等采用 CAM 对事故下高速公路长下纵坡限速值进行仿真^[8], 并采用制动鼓温度预测模型验证限速值对货车的适用范围, 不涉及纵坡事故的发生, 不考虑弯道; 梁等在 NaSch 模型的基础上^[9], 提出了一种改进的适应弯道的单车道 CAM, 面向一般道路弯道, 没有考虑超高、纵坡等影响, 仅讨论对交通流的影响, 不涉及交通事故等。基于此, 本文在下纵坡弯道车辆行驶行为与事故分析的基础上, 尝试建立一个可能发生交通事故的单向三车道山区高速公路下纵坡弯道 CAM, 通过承德-唐山高速承德段下纵坡弯道路段的仿真和实际统计事故率的对比对模型进行初步验证, 对具体参数值对道路交通事故率的影响进行分析, 为道路设计和交通管理实际提供技术支持。

1 车辆行驶行为与可能事故分析

1.1 研究对象

研究对象如图 1 所示的一个具有弯道的单向三车道山区高速公路下纵坡路段。被划分为四个区段, 上游下纵坡直线路段较长, 长度为 L_1 ; 中游下纵坡路段为一个弯道, 弯道中间车道长度为 L_2 ; 下游下纵坡直线路段, 长度为 L_3 。对可能出现多个弯道(每个弯道的半径和长度不同)与下纵坡路段组合的情况, 合计总长度为 L 。在最下游弯道长度一半处外侧设置避险车道。在研究对象上游设置提前警示和速度限制牌; 车辆简化为小汽车、大货车两种类型。

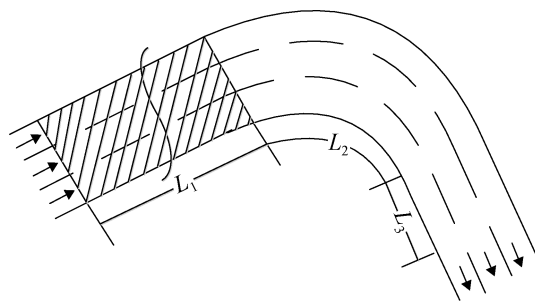


图 1 山区高速公路下纵坡弯道
Fig. 1 Longitudinal slope curve of mountain freeway

1.2 下纵坡行驶行为与可能事故分析

车辆在下纵坡时受到本身的驱动力或制动力 $F_{制}$ 、包括空气阻力 F_w 、道路阻力和惯性阻力等的各种反方向阻力 $F_{阻}$ ^[12, 14]。驾驶员为保持一定的安全速度而采取制动减速措施时, 根据摩擦生热原理, 可得生成热能 Q 。其中被主制动器吸收的热能量 $Q_{制}$ 主要取决于车辆制动时的滑移率 S ^[12], 为:

$$Q = F_{制} \times L_{制} \quad (1)$$

$$Q_{制} = Q \times (1 - S) \quad (2)$$

其中 $L_{制}$ 为汽车在纵坡上的行驶距离。

车辆由于刹车使制动器温度不断升高, 为:

$$T(t) = (1 - \sigma) \times T(t-1) + \gamma \times Q_{制} = (1 - \sigma) \times T(t-1) + \gamma \times (1 - S) \times [0.5 C_D A \rho v^2 + G f \cos(\alpha) + (M + 0.09 M1) \frac{dv}{dt} - G \sin(\alpha)] \times L_{制} \quad (3)$$

其中 t 为时间即仿真步长; 温度 T ; 热量散失带来的温度下降系数 σ ; 纵坡倾角 α , 纵坡坡度 $i=\tan(\alpha)$ 。气动阻力系数 C_D ; 迎风面积 $A(\text{m}^2)$; 空气密度 ρ ; v 和 G 分别为车辆速度(m/s)和总重力(N); 滚动阻力系数 f ; M 和 M_1 分别为车辆和货物总质量、车辆自身质量(kg); dv/dt 为车辆加(减)速度(m/s^2); 制动过程热量转化为温度的转化系数 γ , 为:

$$\gamma = 1 / (m_g \times c_g) \quad (4)$$

式中: m_g 和 c_g 分别为制动鼓质量和比热容。

制动鼓温度上升过快, 可能达到“制动失效”的温度, 酿成交通事故, 该类事故称为制动事故。考虑到小汽车的制动性能较佳, 本研究仅考虑大货车制动器温度变化所引起的制动事故, 且将 260°C 作为制动失效的临界值。

1.3 下纵坡弯道行驶行为与可能事故分析

弯道内车辆受力情况如图2所示。其中 $F_{\text{摩}}$ 为路面静摩阻力, $F_{\text{离}}$ 为汽车的离心力。车辆受离心力的影响, 使其行驶存在不稳定状态, 甚至出现由于离心力较大而使车辆发生侧滑等事故^[9, 13], 对此设置车辆通过弯道的最大安全速度 v_s 以保证安全行驶。 v_s 有多种算法, 考虑到常采用横向力系数 μ 来衡量横向稳定性程度, 故本文 v_s 为^[14]:

$$v_s = \sqrt{127R(\mu + i_y)} \quad (5)$$

其中 R 为弯道半径, i_y 为超高值。

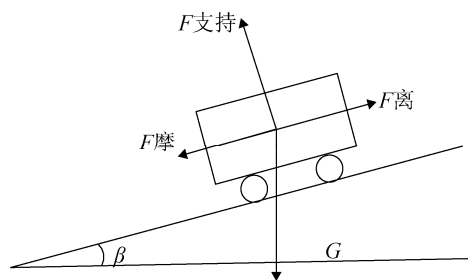


图2 车辆在弯道内的受力分析
Fig. 2 Force analysis of vehicle on curve

车辆进入弯道前必须减速使其 v 不大于 v_s , 否则进入弯道后发生事故, 该类事故即为弯道事故。

为简化问题, 本文仅考虑制动事故和弯道事故。

2 CA 仿真模型

以经典 NaSch 模型为基础建立本研究对象的 CAM^[1-3, 9]。 $v(j, t)$ 和 $x(j, t)$ 为 t 时第 j 辆车的速度和位置(v 取 $0, 1, \dots, v_{\text{max}}, v_{\text{max-car}}$ 和 $v_{\text{max-truck}}$ 分别为小汽车和大货车所允许的最大速度, 后同), 第 j 与 $j+1$ 辆车间的空元胞数 $d(j, t)$ 有:

$$d(j, t) = x(j+1, t) - x(j, t) - l \quad (6)$$

式中: 车辆长度 l 。第 j 车与旁车道上前车间空元胞数 $d(j, t)_{\text{front}}$, 后车间空元胞数 $d(j, t)_{\text{back}}$, 安全距离 d_{safe} ; 换道概率 p_1 ; 进车中小汽车所占比例 p_2 。

2.1 车辆下纵坡规则

2.1.1 向前规则

车辆在下纵坡直线路段行驶时, 按一般道路进化规则。考虑到纵坡对车辆的影响, 使得小汽车和大货车在纵坡上行驶时存在各自期望速度 $V_{\text{期望}}$ 见表1^[15], 当 v 达到期望速度 $V_{\text{期望}}$ 后, 由于纵坡的影响且 $v_{\text{max}} > V_{\text{期望}}$, 会造成车辆 $v > V_{\text{期望}}$, 使得驾驶员会保持该期望速度而进行制动, v 变化过程如图3所示。故其仿真演化规则如下:

表1 各设计速度对应的期望车速区间

Tab. 1 The desired speed range corresponding to each designed speed		设计速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)			
		60	80	100	120
期望车速	小车	60-85	80-100	95-115	115-130
$V_{\text{期望}}$	大车	50-60	60-70	70-80	70-80

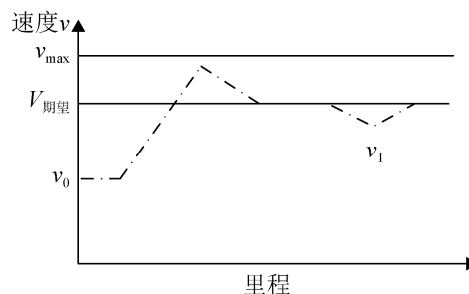


图3 车辆的里程速度变化图
Fig. 3 Variation diagram of vehicle mileage speed

①加速: 驾驶员期望以最大速度行驶, 其中小汽车加速能力较强, 加速为 $v(j, t+1) = \min(v(j, t) + 2,$

$V_{期望}$); 大货车为 $v(j, t+1) = \min(v(j, t) + 1, V_{期望})$ 。

②减速: $v(j, t+1) = \min(v(j, t), d(j, t) - 1)$; 为避免和前车发生碰撞并保持安全车距而采取减速措施。

③以概率 p 随机慢化: $v(j, t+1) = \max(v(j, t) - 1, 0)$; 由各种不确定因素造成的车辆适当减速。

④运动: $x(j, t+1) = x(j, t) + v(j, t+1)$; 车辆按调整后的速度向前行驶。

对大货车在所有仿真步(包括下纵坡、弯道前、弯道等), 根据式(3)计算制动鼓温度, 记录并判断是否达到制动失效临界值, 进入下一仿真步。

制动事故发生的条件: 当车辆制动器达到 260°C 时, 将发生制动失效, 制动事故数加 1。

2.1.2 换道规则

(1) 换道动机 I: $d(j, t) < \min(v(j, t), V_{期望})$; 表示车辆在本车道上不能按照期望的速度行驶。

(2) 换道动机 II: $d(j, t)_{\text{front}} > d(j, t)$ 表示旁车道上的行驶条件比本车道上的行驶条件好。

(3) 安全条件: $d(j, t)_{\text{back}} > d_{\text{safe}}$, 此条件保证车辆换道时不会与旁车道上的后车发生碰撞。

(4) 概率条件: 在保证安全的条件下, 车辆会以一定概率 p_1 换到旁边车道上行驶。

考虑到本研究对象中“大货车正常在外侧(右侧)车道行驶”等, 故大货车仅在超车时临时占用中间车道, 并在满足换道规则 II 和安全条件后返回外侧车道。

2.1.3 弯道前缓冲区段演化规则

驾驶员在进入弯道前为避免车辆发生侧向失稳事故, 需在缓冲路段尽可能减速到弯道限制的安全速度内。但由于制动、弯道参数设置不合理等, 部分车辆在驶入弯道时仍无法减至安全速度, 导致事故产生。同时, 缓冲路段可能会增加大货车的制动次数, 易造成制动失效。规则为:

(1) 当 $v \leq v_s$, 即车辆速度不大于弯道的最大安全速度, 按照纵坡路段一般规则行驶。

(2) 当 $v > v_s$, 车辆只能减速, 规则为:

①减速: $v(j, t+1) = \min(v(j, t), d(j, t) - 1)$; 即驾驶员

为避免和前车发生碰撞并保持安全车距而采取减速措施。

②紧急减速: $v(j, t+1) = \max(v(j, t) - 2, 0)$; 反映驾驶员为避免进入弯道内速度大于 v_s 而进行的紧急刹车过程。

③运动: $x(j, t+1) = x(j, t) + v(j, t+1)$; 车辆按调整后的速度向前行驶。

2.2 弯道演化规则

对进入弯道内的车辆每一仿真步, 进行判断:

(1) $v \leq v_s$, 车辆按照纵坡路段规则行驶。

(2) $v > v_s$, 车辆将会发生侧向失稳事故, 导致侧滑等事故的发生, 弯道事故数加 1。

考虑安全性, 不允许在缓冲车道和弯道内换道。

2.3 避险车道规则

大货车制动器的温度达到 260°C 以上时, 出现制动失效, 失效后车辆将换至内侧车道, 具体换道规则见 2.1.2。在避险车道入口处该车从主线车道上消失, 驶入避险车道。

2.4 事故概率计算

按照 2.1.1 和 2.2 中的规则统计仿真实验中的制动事故数、弯道事故数和总事故数, 依据式(7)计算在 CAM 模型中的事故概率 $P_{ac}^{[6-7]}$:

$$P_{ac} = \frac{\text{仿真时间段内发生事故的车辆数}}{\text{仿真时间段内的交通量} \times \text{仿真时长}} \quad (7)$$

为与交通工程中事故率 AH (次/(亿车·km)) 单位统一和对应比较, 本研究将该 P_{ac} 折算为同单位的事事故率 AH(或称仿真中的事故率)。

2.5 边界条件

采用开放边界条件。

(1) 入口边界。根据研究对象路段实际的交通量, 按随机概率抵达上游入口边界, 其中左车道均为小汽车, 中间为混合车道, 右车道均为大货车。若每个车道上最左端单位元胞对应为 $A=1$, 最左端车辆标记为 A_{last} 。在每一次更新的开始, 监测车道

上最左侧与最右侧的车辆位置 A_{last} 以及 A_{lead} , 当 $A_{last} > v_{max} + l \times 2$, 并且 $\text{rand}() > p_{in}$ (进车概率), 则一辆车将以 $\min(A_{last} - (v_{max} + l), v_{max})$ 进入车道。

大货车在入口边界时, 需设置初始温度值。

(2) 出口边界。若 $A_{lead} > L$, 车辆 A_{lead} 将驶出车道, 下一辆车则成为新的 A_{lead} 。

3 仿真实验分析

3.1 CA 模型参数取值和标定方法

取承德→唐山高速公路承德段部分路段为实验对象。该路全长 82.3 km, 单向为 3 车道, 主要由纵坡组成, 其中下纵坡占 75%, 部分下纵坡路段由多个弯道组合而成。

模型中元胞长度 1 m, 小汽车占 6 个元胞, 货车占 12 个元胞, 仿真步长为 1 s。根据该路段的实际调查数据、仿真实验与实际调查对比, 对有关参数进行校正, 得到: (1) 小汽车所占比例按照过去三年实际统计平均确定, $p_2=0.75$; 内车道、中间车道和外车道的进车概率分别为 0.18、0.15 和 0.09; 中间车道小汽车所占比例为 0.9。(2) 随机慢化概率 $p=0.05$; 换道概率 $p_1=0.5$ 。

3.2 模型初步验证

小凿子岭、苗家营和北大山三个长下坡弯道路段通过建立 CAM 仿真实验得到的基本图和通过实际调查得到的基本图比较(略)基本吻合, CAM 仿真实验得到的交通事故率(概率)见表 2。其中每个路段统计结果为 30 次实验的平均值, 每次仿真实验为 121 h, 同时为排除非稳态影响, 所有实验均将前 3 600 个时间步(1 h)不进行统计。

依据国内外的大量统计, 与这三个长下坡弯道路段参数接近的弯道与坡道重合路段事故率范围为 70~150 次/(亿车·km)之间^[16], 且随纵坡坡度的增加事故率在显著增加, 随弯道半径的增加在显著减少, 本仿真实验得到的事故率也在这个范围类, 也呈现出这种递增或递减的特点; 同时该高速过去

三年所有下纵坡弯道路段的事故率统计平均为 104 次/(亿车·km), 初步验证了本 CAM 用于交通事故仿真的有效性。

3.3 仿真实验分析

选取小凿子岭和北大山路段进行各参数改变下仿真的事故率比较分析(苗家营趋势类同, 略)。

3.3.1 弯道半径分析

图 4~5 分别为小凿子岭和北大山两个路段弯道半径取不同值的事故率变化。其中依据地形, 弯道半径小凿子岭取 400~1 200 m 间每隔 100 m 为一个仿真方案, 北大山取 700~1 200 m 间; 弯道长度、超高值和横向力系数小凿子岭分别取 400 m、3% 和 0.13; 北大山取 700 m、2% 和 0.13。可看出:

(1) 弯道事故率随弯道半径的增加呈现先减少后保持基本不变。这是因为随着弯道半径的增加, 安全速度也随着增加, 车辆通过弯道时速度超过安全速度的概率在降低, 可能发生弯道事故的概率在减少; 当弯道半径小凿子岭达到 700 m 时, 北大山达到 900 m 时, 各自的弯道事故率趋于 0。

(2) 制动事故率随弯道半径的增加, 先缓慢降低, 然后保持基本不变。这是因为当弯道半径小于某一值如小凿子岭 500 m 时, 弯道安全速度 v_s 小于大货车的最大速度, 部分车辆速度大于 v_s , 为保持安全驾驶必须减速至 v_s 及以下, 增加制动次数, 产生可能的制动事故; 若弯道半径增加, 依式 (5) v_s 得以提高, 速度大于 v_s 而被迫制动的车辆数及次数在减少, 故制动事故率也减少; 当弯道半径大于某值如小凿子岭 500 m 时, v_s 大于大货车的最大速度, 驾驶员行驶车速不再受弯道半径增加的影响, 故制动事故率也将基本不变。

(3) 总事故率随弯道半径的增加先减少, 然后逐步趋缓。在这两个例子中, 当弯道半径小凿子岭在 700 m 时和北大山 900 m 时, 总事故率基本不再变化。

表2 部分下纵坡弯道路段仿真的事故率

Tab. 2 The accident rates of partial simulated longitudinal slope curves

编号	路段	长度(km),纵坡坡度(%),弯道半径(m),弯道长度(m),超高值(%),横向力系数	事故率(次/(亿车·km))
1	小凿子岭	4, 3.9, 700, 400, 4, 0.13	137
2	苗家营	3, 3.5, 700, 300, 3, 0.13	106
3	北大山	2, 3.3, 1060, 600, 2, 0.13	71

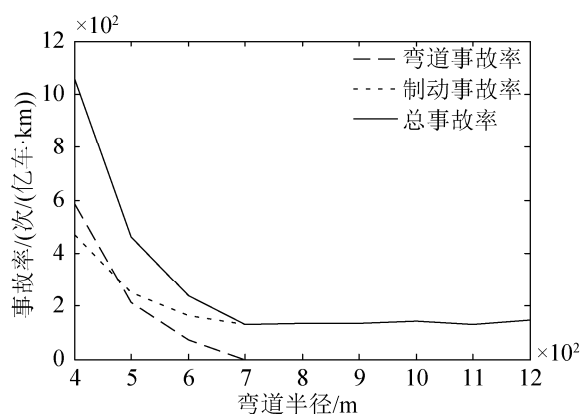


图4 小凿子岭路段不同弯道半径事故率变化

Fig. 4 Variation of accident rate for Xiaozaoziling section with different curve bend radius

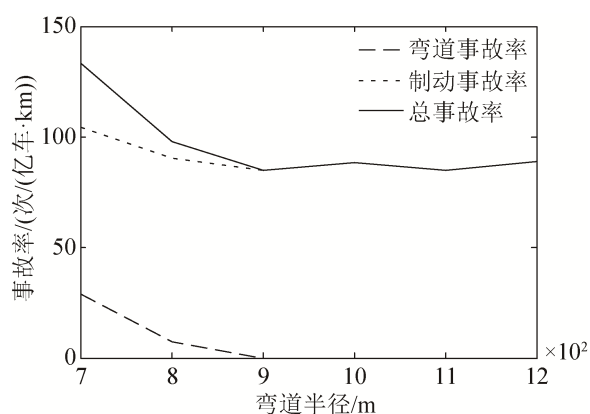


图5 北大山路段不同弯道半径事故率变化

Fig. 5 Variation of accident rate for Beidashan section with different curve bend radius

3.3.2 弯道长度分析

图6和7分别为小凿子岭和北大山两个路段的弯道长度取不同值时事故率的变化。其中依据地形, 弯道长度小凿子岭取300~700 m间, 北大山取400~800 m间; 弯道半径、超高值和横向力系数小凿子岭分别取700 m、3%和0.13; 北大山分别取900 m、2%和0.13。可以看出:

(1) 随弯道长度的增加, 弯道事故率基本保

持不变。这是由于当弯道半径大于等于某一值如小凿子岭700 m北大山900 m时, 安全速度与小汽车的最大速度基本持平, 车辆行驶过程超出安全速度的概率接近于零, 发生弯道事故的概率也保持在一个小的范围内, 即弯道事故率基本不变。

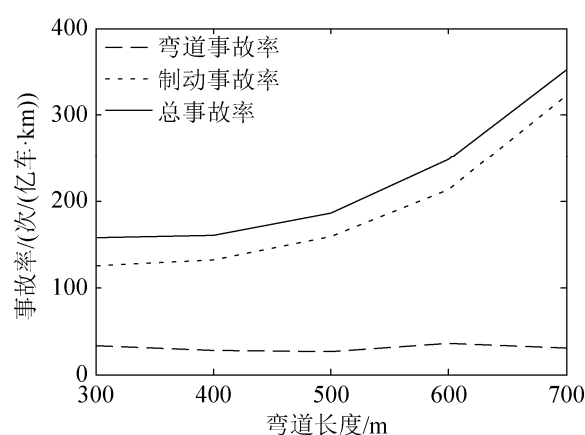


图6 小凿子岭路段不同弯道长度事故率变化

Fig. 6 Variation of accident rate for Xiaozaoziling section with different curve lengths

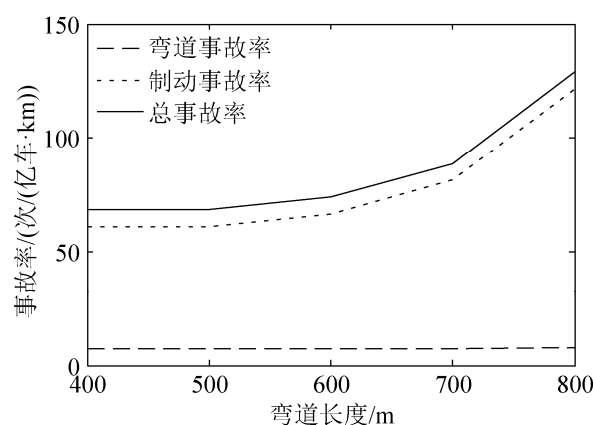


图7 北大山路段不同弯道长度事故率变化

Fig. 7 Variation of accident rate for Beidashan section with different curve lengths

(2) 随弯道长度的增加, 如小凿子岭500 m北大山700 m时, 制动事故率呈现上升趋势。这是

因随着弯道长度的增加,会增加驾驶员在弯道内的行驶时间,使得驾驶员在弯道内的可能制动更加频繁,导致制动事故的概率随之增大。

(3) 总事故率随弯道长度的增加而增加。

3.3.3 弯道半径和长度综合分析

图8为小凿子岭路段弯道半径与长度组合情况下的事故率比较(苗家营和北大山趋势类同),其中超高值和横向力系数分别取3%和0.13。可看出:

在该路段,弯道半径大于700 m,弯道长度在300-550 m间内事故率均较低且在正常的事故率范围内;弯道半径小于700 m时,事故率急剧增加;弯道长度超出550 m时,事故率增大趋势非常明显。因此在道路设计阶段取弯道半径700 m和弯道长度300 m,可实现交通安全和投资减少这两个目标的协调优化。

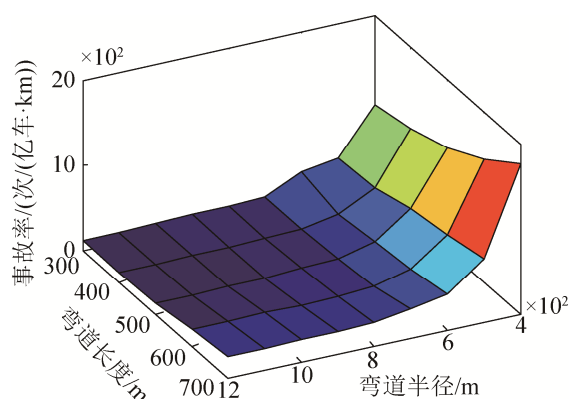


图8 小凿子岭路段不同曲线半径和长度组合的事故率变化

Fig. 8 Variation of accident rate for Xiaozaoziling section with different curve bend radius and lengths combination

3.3.4 弯道超高分析

图9为小凿子岭路段取不同超高值下事故率比较(苗家营和北大山基本趋势类同),其中弯道半径、弯道长度和横向力系数分别取700 m、400 m和0.13。可以看出:

(1) 超高值的增加可有效减少弯道事故率。这是因超高值的增加使得通过弯道的安全速度增大,特别是大于3%后,安全速度大于车辆最大速度,使得通过弯道时速度超过安全速度从而发生

弯道事故的概率趋于0。

(2) 超高值变化对制动事故率的影响相对不大。这是因为本实验最小的超高值所对应的弯道安全速度大于大货车最大速度,且弯道长度固定,大货车行驶特性基本不变,制动事故率基本不再变化。

(3) 总事故率随弯道超高值的增加呈现先减小后保持不变的趋势,因此超高值也是影响安全的一个重要因素。

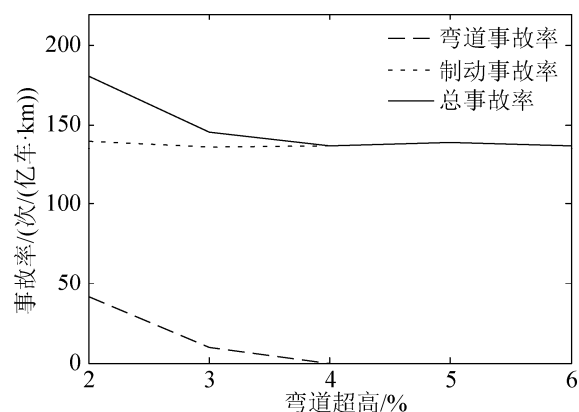


图9 小凿子岭路段不同超高值事故率变化

Fig. 9 Variation of accident rate for Xiaozaoziling section with different curve superelevation

3.3.5 不同限速值分析

图10和11为小凿子岭和北大山两个路段设置不同限速值的事故率变化。其中弯道半径、弯道长度、超高值和横向力系数,小凿子岭取500 m、400 m、3%和0.13,北大山取700 m、700 m、3%和0.13。可以看出:

(1) 弯道事故率在限速值低于一数值(如小凿子岭的100 km/h)时较低且基本保持不变,随后增加,然后保持不变。这是因限速值低于一数值时,车速较低,大于 v_s 的概率趋于0,使得弯道事故率较低且基本不变;当超过该数值时,部分车速大于 v_s ,弯道事故率增加;但由于车辆期望速度有限如小汽车115 km/h,即使限速值设置较高,司机自身的安全意识也使得实际速度不可能高,大于 v_s 的概率较低且基本不变,弯道事故率也较低且基本不变。

(2) 制动事故率随限速值的增加而增加, 然后基本不变。这是因随限速值的增加, 大部分车辆行驶速度也增加, 制动鼓温度超过制动失效临界值的概率在增加, 制动事故率也增加。但限速值达到一定值后, 但由于车辆期望速度有限, 即使限速值设置较高, 司机自身的安全意识也使得实际速度不可能高, 制动事故率也基本趋于一个固定值。

(3) 总事故率随弯道限速值的增加呈现先递增而后基本的趋势。因此在该高速公路下纵坡弯道交通管理中, 设置合理的限速值是保证交通安全的重要措施。

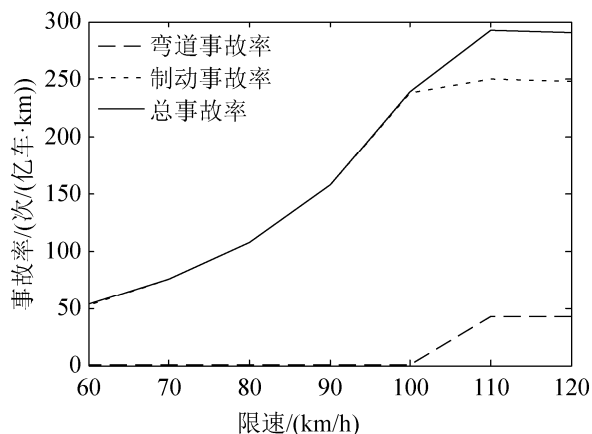


图 10 小凿子岭路段设置不同限速值事故率变化
Fig. 10 Variation of accident rate for Xiaozaoziling section with different set speed upper limit

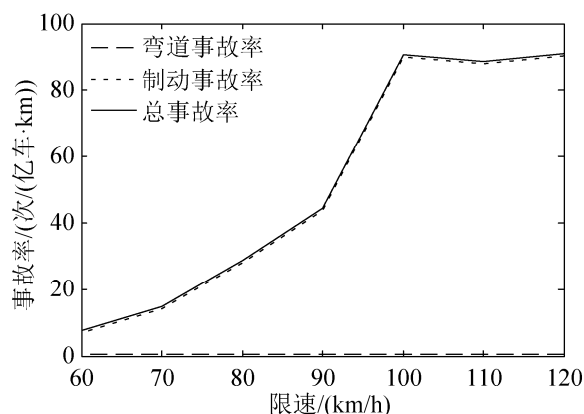


图 11 北大山路段设置不同限速值事故率变化
Fig. 11 Variation of accident rate for Beidashan section with different set speed upper limit

4 结论

在下纵坡弯道车辆行驶行为和事故率分析的基础上, 建立一个可能发生交通事故的山区高速公路下纵坡弯道 CA 仿真模型, 对设计参数和速度限制上限值对事故率的影响进行了初步分析。本文仅是初步研究, 尚需在理论上对其它因素特别是驾驶行为综合考虑, 建立更加科学符合实际的事事故率映射仿真模型; 在工程应用上需进一步结合具体实际, 对下纵坡弯道组合的路段进行更深入的仿真实验和统计分析, 并进行结合投资的设计参数优化和交通管控优化的深入研究。

参考文献:

- [1] Cécile Appert-Rolland, Jérémie Du Boisberranger. Macroscopic Relaxation after On-ramps in Real Data and in Cellular Automata Simulations [J]. Transportation Research Part C (S0968-090X), 2013, 34(9): 162-175.
- [2] Jun-fang Tian, Ning Jia, Ning Zhu, et al. Brake Light Cellular Automaton Model with Advanced Randomization for Traffic Breakdown [J]. Transportation Research Part C (S0968-090X), 2014, 44(4): 282-298.
- [3] 庞明宝, 陈静, 杨敏. 基于 CA 模型的中小学放学门口道路交通仿真[J]. 系统仿真学报, 2015, 27(5): 927-934. Pang Mingbao, Chen Jing, Yang Min. Traffic Simulation of Elementary and Middle School's Gate Road During Student Departing School Based on CA Model [J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(5): 927-934.
- [4] 邝先验, 曹韦华, 吴赞. 考虑混入逆行车辆的非机动车流元胞自动机模型[J]. 系统仿真学报, 2016, 28(2): 268-274. Kuang Xianyan, Cao Weihua, Wu Yun. Cellular Automata Model of Non-motor Vehicle Flow Considering Reverse Vehicles [J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(2): 268-274.
- [5] 靳慧斌. 基于元胞自动机的人因追尾事故仿真研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2012, 8(2): 38-43. JIN Hui-bin. Simulation Research on the Rear-end Accident due to Human Factor Based on Cellular Automata [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2012, 8(2): 38-43.
- [6] Najem Moussa. Car Accidents in Cellular Automata Models for One-lane Traffic Flow [J]. Physical Review E (S2470-0053), 2003, 68: 036127.
- [7] Pang Ming-bao, Zheng Sha-sha, Cai Zhang-hui.

- Simulation of Three Lanes One-way Freeway in Low Visibility Weather by Possible Traffic Accidents [J]. *Physica A* (S0378-4371), 2015, 433: 161-170.
- [8] 梁国华, 钱国敏, 李瑞, 等. 基于安全与效率的交通事件下高速公路长大下坡限速值[J]. *中国公路学报*, 2015, 28(5): 117-124.
LIANG Guo-hua, Qian Guo-min, LI Rui, et al. Speed Limit Value Based on Safety and Efficiency for Long and Steep Downhill Incident [J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2015, 28(5): 117-124.
- [9] 梁玉娟, 薛郁. 道路弯道对交通流影响的研究[J]. *物理学报*, 2010, 59(8): 5325-5331.
Liang Yu-juan, Xue Yu. Study on traffic flow affected by the road turning [J]. *Acta Physica Sinica*, 2010, 59(8): 5325-5331.
- [10] Natacha E T, Francisco J M P. Impacts of Road-Trains on the Geometric Design of Highways [J]. *Journal of Transportation Engineering* (S0733-947X), 2015, 141(4): 04014087-1-9.
- [11] KARLAFTIS M G, GOLIAS I. Effects of Road Geometry and Traffic Volumes on Rural Roadway Accident Rates [J]. *Accidents Analysis and Prevention* (S0001-4575), 2002, 34(3): 357-365.
- [12] 贾伟. 制动器温升与山区道路参数及车辆工况关系研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2012.
JIA Wei. Research of Relationships Between Brake Temperature Rise and Mountainous Road Parameters or Vehicle Condition [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2012.
- [13] 孙川, 吴超仲, 褚端峰, 等. 弯道安全车速计算改进模型研究[J]. *中国公路学报*, 2015, 28(8): 101-108.
SUN Chuan, WU Chao-zhong, CHU Duan-feng, et al. Improved Model Study of Safety Speed Calculation in Curves [J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2015, 28(8): 101-108.
- [14] 杨春风, 欧阳建湘, 韩宝睿. 道路勘测设计[M]. 北京: 人民交通出版社, 2010.
YANG Chunfeng, OUYANG Jianxiang, HAN Baorui. Road Survey and Design [M]. Beijing: China Communications Press, 2010.
- [15] 彭武雄, 朱顺应, 许源, 等. Vissim 仿真软件中期望车速的设定方法研究[J]. *交通信息与安全*, 2007, 25(4): 53-56.
PENG Wuxiong, ZHU Shunying, XU Yuan, et al. The Setting of Desired Speed in Traffic Simulation Based on Vissim [J]. *Traffic and computer*, 2007, 25(4): 53-56.
- [16] 徐吉谦, 陈学武. 交通工程总论[M]. 北京: 人民交通出版社, 2009.
XU Jiqian, CHEN Xuewu. General Theory of Traffic Engineering [M]. Beijing: China Communications Press, 2010.

———
(上接第 1413 页)

- [8] 王玉, 田连军. 清管球(器)收球工艺流程优化设计[J]. *石油工程建设*, 2010, 36(2): 26-27.
WANG Yu, TIAN Lian-jun. Optimized design of pig receiving process[J]. *Petroleum Engineering Construction*, 2010, 36(2): 26-27.
- [9] 赵先勤, 江开兰. 小口径管道清管器收发球装置[J]. *油气储运*, 1999, 18(3): 58-59.
ZHAO Xian-qin, JIANG Kai-lan. Small diameter pipeline pigging device[J]. *Oil And Gas Storage And Transportation*, 1999, 18(3): 58-59.
- [10] 杨英亮, 田野. 不同设计标准下的清管器收发装置的设计[J]. *广东化工*, 2013, 40(11): 222.
Yang Yingliang, Tian Ye. Pig launcher and receiver device under different design standard design[J]. *Guang Dong Chemical*, 2013, 40(11): 222.
- [11] 程宜强, 李强林, 蔡海生, 等. 济淄天然气管道清管收球速度的控制[J]. *油气储运*, 2014, 33(1): 108-110.
CHENG Yiqiang, LI Qianglin, CAI Haisheng, et al. Control of receiving velocity during pigging for Ji-Zi Natural Gas Pipeline[J]. *Oil And Gas Storage And Transportation*, 2014, 33(1): 108-110.