

文章编号:1671-8879(2014)01-0023-08

高速公路爬坡车道设置的有效性

梁国华^{1,2}, 马荣国¹, 沈翔¹, 梁永东¹

(1. 长安大学公路学院, 陕西西安 710064; 2. 路易斯安那大学拉法叶分校
工程学院, 路易斯安那州拉法叶 70503)

摘要:为了科学地分析高速公路爬坡车道设置有效性, 为管理者提供建设的决策依据, 在传统元胞自动机模型的基础上, 通过引入纵坡坡度、车辆运行速度改进了 NS 跟车规则中的车辆加速与慢化概率规则, 在换车道规则中, 对相邻车道上后方紧邻车辆的速度采取车辆运行速度与安全换道间距的最小值, 构建适用于爬坡路段的交通流元胞自动机模型; 分析车道数、坡度、坡长、车速、大车混入率等因素对爬坡路段通行能力的影响, 据此仿真了 240 种方案。研究结果表明: 单向双车道增设一条爬坡车道后, 其通行能力提高百分比区间为 8%~16%, 其中在大车混入率为 30% 时达到最大值; 单向三车道增设一条爬坡车道后, 其通行能力提高百分比区间为 6%~15%, 其中在大车混入率为 20% 时达到最大值。

关键词:道路工程; 爬坡车道; 元胞自动机; 通行能力; 仿真; 有效性

中图分类号: U491

文献标志码: A

Effectiveness of building climbing lane on expressway

LIANG Guo-hua^{1,2}, MA Rong-guo¹, SHEN Xiang¹, LIANG Yong-dong¹

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. School of Engineering,
University of Louisiana at Lafayette, Lafayette 70503, Louisiana, USA)

Abstract: In order to scientifically analyzing the effectiveness of building climbing lane on expressway and provide a basis for decision making in road construction, this paper improved vehicle acceleration and deceleration probability rules in NS car-following rules and took the minimum value of vehicle running speed and safety lane change pitch as the speed of next vehicle closely on adjacent lane in lane-changing rules, and built the traffic flow cellular automaton model suitable for driving on climbing lane. The influence of number of lanes, slope, slope length, speed and mixed rate of heavy vehicles on traffic capacity in climbing section was analyzed and 240 simulation programs were established. The results show that after a climbing lane is built on expressway which has two lanes in one direction, the capacity increases by 8% to 16%, and reaches maximum when mixed rate of heavy vehicles is 30%; after a climbing lane is built on expressway which has three lanes in one direction, the capacity increases by 6% to 15%, and reaches maximum when mixed rate of heavy vehicles is 20%. 3 tabs, 10 figs, 12 refs.

Key words: road engineering; climbing lane; cellular automata; traffic capacity; simulation; effectiveness

收稿日期: 2013-05-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(51208053)

作者简介: 梁国华(1977-), 男, 吉林珲春人, 副教授, 工学博士, E-mail: lgh@chd.edu.cn.

0 引言

山区高速公路爬坡路段,大型车因其爬坡能力不足导致速度折减,对道路通行能力和交通安全产生了较大影响。为有效消除不利影响,在爬坡路段设置爬坡车道是一种较好的解决方案。爬坡路段增设爬坡车道的施工难度与建设费用均较大,因此,有必要对高速公路爬坡车道设置有效性进行分析。美国研究表明,在特定的纵坡路段,载重汽车的行驶速度偏离平均行驶速度越多,发生事故的几率越大。因而,美国公路与运输协会(AASHTO)规定载重汽车的行驶速度比入坡速度降低 16 km/h 时,宜设爬坡车道,同时 16 km/h 的速度折减量也是美国确定爬坡车道起点的依据^[1]。此外,还研究了不同减速度下,纵坡坡度与坡长的关系,绘制纵坡坡度、坡长与速度变化之间的关系,并提出了爬坡车道的设置方法^[2-3]。日本在《关于爬坡车道的调查研究报告书》中采用模拟的方法,从交通服务和交通安全两方面来确定设置爬坡车道的条件和区间,并对设置爬坡车道的效果做了评价。翟卫华提出了采用行车速度、耗油量及交通事故率作为公路线形使用质量的评价指标,根据实测的车速与相应的曲线路段公路线形指标,建立了统计回归模型^[4]。交通运输部公路科学研究院进行了“纵坡与汽车运行速度和油耗之间的关系”专题研究,提出了大型车在各种纵坡上的动力性能曲线和各种行驶状况下的稳定速度、油耗与坡度曲线,同时还与油耗等经济指标联系起来进行综合分析^[5]。此外,交通运输部公路科学研究院提出基于运行速度差和满足公路服务水平要求的各等级公路最大纵坡坡度与坡长限制值,并给出了爬坡车道的设置原则。综合来看,国内外对爬坡车道的设置效果缺少论证分析。鉴于此,本文采用基于交通流元胞自动机模型的仿真分析方法,针对爬坡车道设置前后不同的道路条件和交通条件,仿真交通流在爬坡路段的交通运行状况,对比道路通行能力改善情况以评价爬坡车道设置的合理性与有效性。

1 爬坡路段道路通行能力影响因素

在爬坡路段,大小型车辆因机动性能、自重、载

重等不同,导致车辆的运行特性不同。爬坡路段对大型车的影响较小型车明显,路段通行能力的变化也比较明显。影响爬坡路段通行能力的因素有许多。本文研究道路条件和交通条件对其影响,其中道路条件为车道数、纵坡坡度和坡长,交通条件为交通量、车速和大车混入率^[6]。

1.1 道路条件对爬坡路段通行能力的影响

(1)车道数。当车道数较少,而大型车又较多时,车流混杂,车流运行速度降低,致使爬坡路段通行能力降低;相反,当车道数较多,而交通量又不是很大时,则会造成浪费道路资源。

(2)纵坡坡度。在坡长一定的情况下,爬坡路段坡度越大,车辆运行速度就越小,爬坡路段通行能力就越小。

(3)坡长。在道路纵坡度一定的情况下,爬坡路段坡长越长,车辆保持低速运行的时间越长,爬坡路段通行能力降低越明显,坡长对其通行能力的影响就越大。

1.2 交通条件对爬坡路段通行能力的影响

(1)交通量。交通量较小时,由于交通密度较小,爬坡路段上通过的车辆数少;若交通量较大,在车道数一定的情况下,交通密度很大,甚至到达饱和流,则爬坡路段的通行能力降低,严重时还会发生交通拥堵。

(2)车速。车速对爬坡路段通行能力的影响主要表现在车速离散性上。车速离散性越大,车流越不稳定,对爬坡路段通行能力和行车安全的影响越大。

(3)大车混入率。当大型车较少时,小型车较容易变换车道,车流速度降低不大,爬坡路段的通行能力变化不太明显;若大型车较多,因其在爬坡路段上行驶速度较低,影响了小型车超车的概率,致使爬坡路段通行能力降低^[7]。

2 爬坡路段交通流元胞自动机模型

爬坡路段交通流元胞自动机模型由单车道跟车规则、多车道换道规则、车辆的到达与离去组成。

2.1 爬坡车道的实际运行规则

以单向双车道增设一条爬坡车道为例分析车辆

实际运行规则,如下页图 1 所示,当大型车进入上游过渡段时,可以选择安全的间隙通过变换车道行驶在爬坡车道上;当大型车在爬坡段行驶时,只有跟驰行为,不允许变换车道;当大型车行驶到下游过渡段时,可以选择适当的间隙通过变换车道驶回原车道继续行驶;这 2 种情况下的变换车道行为皆为强制性换车道行为。在仿真时,仿真模型将根据爬坡车道的通行能力和当时的交通流状况来确定选择爬坡车道的大型车数量。

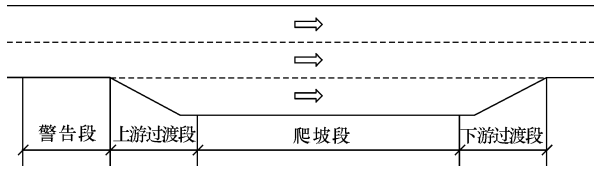


图 1 单向双车道增设一条爬坡车道

Fig. 1 Building a climbing lane on expressway which has two lanes in one direction

2.2 单车道跟车规则

根据一维交通流元胞自动机模型的特点,结合研究对象,选择 NS 模型作为单车道跟车规则,其演化规则为^[8]

① 确定性加速

$$v_{ji} = \min(v_{ji} + 1, v_{\max}) \quad (1)$$

② 确定性减速

$$v_{ji} = \min(v_{ji}, g_{ji}) \quad (2)$$

③ 随机减速

$$v_{ji} = \max(v_{ji} - 1, 0) \quad (3)$$

车辆以概率 p_1 随机减速,其中 p_1 为慢化概率,是一个常量。

④ 位置更新

$$x_{ji} = x_{ji} + v_{ji} \quad (4)$$

式中: v_{ji} 为 j 车道上第 i 辆车在 t 时刻的速度(km/h); v_{\max} 为车辆能达到的最大速度(km/h); g_{ji} 为 j 车道上第 i 辆车 t 时刻前方紧邻车辆间的空格数; x_{ji} 为 j 车道上第 i 辆车在 t 时刻的位置。

NS 模型的适用条件是平直公路,但高速公路爬坡路段有纵坡。因此应将坡度考虑其中,对 NS 模型进行改进。大型车在爬坡路段的受力分析如图 2 所示。

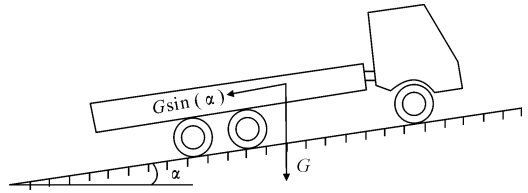


图 2 爬坡路段大型车受力分析

Fig. 2 Mechanical analysis of heavy vehicle driving on climbing road

由图 2 可知,在爬坡路段,重力 G 沿坡道方向的分量对爬坡车辆起到了减速作用,其加速度值为 $g\sin(\alpha)$,其中 g 为重力加速度, α 为爬坡路段的坡角。根据交通流元胞自动机模型的相关理论,每一元胞对应的实际道路长度为 7.5 m。NS 模型中的加速规则中的数值 1 相当于在 1 s 的时间内速度增加 7.5 m/s²,对应的加速度值为 7.5 m/s²。为了使爬坡路段上的减速效应能在元胞自动机模型中得到体现,需要将其离散化处理,即以一定的概率一次性减速。经折算后,车辆在爬坡时每一次减速发生的概率为 $p_{up} = g\sin(\alpha)/7.5$ 。由于高速公路的纵坡度很小,则有 $\sin(\alpha) \approx \tan(\alpha) \approx i$, i 为纵坡度。因此, $p_{up} = gi/7.5$ 。加入了坡度影响的交通流元胞自动机模型演化规则的第 1 步如下^[9]。

$$v_{ji} = \min\{v_{ji} + 1 + c, v_{\max}\} \quad (5)$$

$$c = \begin{cases} -1 & \text{以概率 } p_{up} \text{ 发生} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

此外,NS 模型规则③中的慢化概率 p_1 是一常量,不论车辆运行速度有多快,车辆都会以同样的概率进行减速,这与实际情况不甚相符。因此,本文引入车辆的运行速度,对其 p_1 进行了改进。

$$p_1 = 1 - \frac{1}{v_{ji}} \quad (7)$$

2.3 多车道换道规则

多车道换道是指单向有 2 个或 2 个以上车道的换道行为。换车道规则有对称换车道规则和非对称换车道规则,本文采用对称换车道规则为^[10]

$$v_{ji}(t) \geq g_{ji}(t) \quad (8)$$

$$v_{ji}(t) \leq g_{other}(t) \quad (9)$$

$$d_{safe} \leq g_{other}(t) \quad (10)$$

$$p_{rand} < p_{change} \quad (11)$$

式中: $g_{\text{other}}(t)$ 为 j 车道上第 i 辆车在 t 时刻与相邻车道上前方紧邻车辆间的元胞数; d_{safe} 为变换车道时的安全间距; p_{rand} 为 t 时刻随机生成的概率; p_{change} 为随机换道概率。

上述规则中的安全换道间距 d_{safe} 是一个定值, 为更好地模拟实际驾驶行为, 确定另一车道后方车辆的运行速度时, 取车辆运行速度与安全换道间距的最小值, 即 $d_{\text{safe}} = \min\{d_{\text{safe}}, v_{\text{other}}(t)\}$, 其中 $v_{\text{other}}(t)$ 为 t 时刻 j 车道上第 i 辆车相邻车道上后方紧邻车辆的速度。当车道数超过 2 个车道时, 行驶在中间车道上的车辆既可以向左边车道换道, 又可以向右边车道换道, 如 3 个车道的中间车道可以向两边车道换道。因此, 在保证安全的前提下, 选择能够获得更快行驶速度的车道进行换道。

2.4 车辆的到达与离去

2.4.1 车辆的到达(左边界)

车辆到达率分布是指在单位时间内经过道路某一点车辆数的概率分布, 又称车流分布。调查表明: 车流密度不大且不受其他干扰因素影响时, 车辆到达率大致符合泊松分布; 交通拥挤时, 车辆到达率大致符合二项分布或广义泊松分布; 交通受周期性干扰时, 车辆到达率则大致符合负二项分布^[11]。因此, 在车流密度不大时, 车辆到达率分布采用泊松分布; 当交通拥挤时, 车辆到达率分布采用二项分布。

2.4.2 车辆的离去(右边界)

车辆的离去是指交通流元胞自动机模型右边界的处理, 当车辆行驶到模型右边界时, 车辆会以一定的概率离去。一般来说, 车辆的离去概率 p_2 是一个常量, 即不论交通量有多大, 车辆都以固定的概率离去; 显然, 这与实际情况不甚相符。当车流密度较小时, 由于车速较快, 车辆离去的概率应该较大; 而当车流密度较大时, 车辆行驶缓慢, 车速较小, 车辆离去的概率应有所降低。因此, 本文将车辆的运行速度引入到车辆的离去概率中, 对其模型的右边界进行了改进, 其中 $p_2 = 1 - e^{-v_{ji}}$ 。

3 仿真方案

在仿真时, 首先要确定仿真方案, 即仿真时涉及到的变量, 通过前述影响因素分析, 本文仿真方案变量为: 车道数、坡长、坡度、交通量、车速和大车混入率 6 个参数。

3.1 仿真参数设置

3.1.1 车道数

本文仿真对象界定为单向双车道与单向三车道。因此, 仿真时车道数取 $n_1 = 2$ 、 $n_2 = 3$ 。

3.1.2 坡度

根据国内外关于爬坡车道设置条件的有关研究成果, 一般在道路纵坡度大于或等于 3% 时增设爬坡车道; 依据《公路工程技术标准》(JTG B01—2003), 高速公路的设计车速一般为 120、100、80 km/h, 对应设计车速下的最大纵坡分别为 3%、4%、5%, 因此, 仿真时坡度取 $i_1 = 3\%$ 、 $i_2 = 4\%$ 、 $i_3 = 5\%$ 。

3.1.3 坡长

根据《公路工程技术标准》(JTG B01—2003), 高速公路的设计车速为 80 km/h 时, 最小坡长为 200 m; 最大坡长为 1 100 m。结合计算机模拟时的时间复杂度, 仿真时爬坡路段的坡长从最小坡长 200 m 开始, 以后逐次增加 300 m, 直到最大坡长 1 100 m 时结束。因此, 仿真时坡长取 $l_1 = 200$ m、 $l_2 = 500$ m、 $l_3 = 800$ m、 $l_4 = 1 100$ m。

3.1.4 交通量

根据《公路工程技术标准》(JTG B01—2003) 中高速公路服务水平分级, 设计车速为 120 km/h 时, 最大服务交通量的最大值为 2 200 pcu/h; 高速公路设计车速为 80 km/h 时, 最大服务交通量的最小值为 600 pcu/h。结合计算机模拟时的时间复杂度, 仿真时交通量取 $q_1 = 600$ pcu/h、 $q_2 = 900$ pcu/h、 $q_3 = 1 200$ pcu/h、 $q_4 = 1 500$ pcu/h、 $q_5 = 1 800$ pcu/h、 $q_6 = 2 200$ pcu/h。

3.1.5 车速

由于交通流元胞自动机模型中车辆的运行速度是由模型的演化规则和车辆的最高速度以及当时的交通流状态共同决定的。因此, 在仿真时只需输入各种车型的最高车速。根据交通流元胞自动机模型的相关理论, 车辆每行进一个元胞代表实际速度为 27 km/h, 且所经过元胞数均为整数, 即仿真模型中车辆的最高车速为 27 km/h 的倍数。《中华人民共和国道路交通安全法实施条例》第 78 条, 高速公路

最高车速不得超过 120 km/h,最低车速不得低于 60 km/h;结合爬坡路段车辆实际运行情况,小型车爬坡时平均速度为 90 km/h 左右,大型车爬坡时平均速度为 60 km/h 左右。综合以上分析,仿真时小型车的最高车速分别取元胞数 3 和 4,相对应的实际速度分别为 81、108 km/h;大型车的最高车速分别取元胞数 2 和 3,相对应的实际速度分别为 54、81 km/h。因此,仿真时车速组合取 v_1 : 小车 108 km/h、大车 81 km/h; v_2 : 小车 81 km/h、大车 54 km/h。

表 1 仿真参数汇总

Tab. 1 Summary of simulation parameters

车道数		车速/(km·h ⁻¹)		坡度/%			坡长/m				大车混入率/%					交通量/(pcu·h ⁻¹)					
n_1	n_2	v_1	v_2	i_1	i_2	i_3	l_1	l_2	l_3	l_4	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6
2	3	108,81	81,54	3	4	5	200	500	800	1 100	10	20	30	40	50	600	900	1 200	1 500	1 800	2 200

3.2 仿真方案

综合以上分析,根据道路与交通条件 6 个参数的取值,共有 1 440 种仿真组合方案。文中针对不同交通量分别进行仿真,将仿真时的最大交通量作为其通行能力值并输出。因此,在仿真结果输出时,只输出交通量最大时的那个值,其余的不输出,则上述 1 440 种仿真组合方案输出时变为 240 种。

4 爬坡车道设置有效性分析

4.1 单向双车道增设一条爬坡车道有效性分析

根据爬坡路段交通流元胞自动机模型以及仿真方案,对单向双车道增设一条爬坡车道前后的爬坡路段交通流状态进行仿真,由于仿真结果较多,根据仿真结果,挑选出具有代表性的仿真方案进行示例,即当车道数、道路纵坡、坡长、车速组合固定在某情

3.1.6 大车混入率

大车混入率是指在大车混入交通流中所占的比率,包括空间混入率与时间混入率^[12]。结合本文研究需要,在此采用大车时间混入率的概念作为其研究的对象。大车时间混入率是指对于某一段道路空间,在一段时间内,大车流量和交通量的比率。由于不同区域的经济社会的差异性,致使不同高速公路大型车混入率存在差异,本文仿真时大车混入率取 $s_1 = 10\%$ 、 $s_2 = 20\%$ 、 $s_3 = 30\%$ 、 $s_4 = 40\%$ 、 $s_5 = 50\%$ 。

综上所述,仿真参数取值汇总见表 1。

形下,仅有大车混入率改变时,通行能力的变化,如表 2 和图 3 所示($n_1 i_1 l_1 v_1$ 表示对应参数取不同值时的组合,其他类同)。

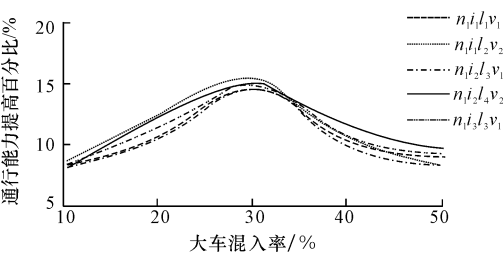


图 3 通行能力提高与大车混入率的关系

Fig. 3 Relationship between improvement of traffic capacity and mixed rate of heavy vehicle

同样,可以得到坡长、坡度、车速组合与通行能力提高百分比的关系,选取典型的仿真方案结果进行示例,见下页图 4~图 6。其中,图 6 中 v_1 表示车速组合为小车 108 km/h、大车 81 km/h, v_2 表示车

表 2 不同大车混入率下单向双车道增设一条爬坡车道后通行能力提高百分比

Tab. 2 Improvement of traffic capacity under different mixed rates of heavy vehicles after building a climbing lane on expressway which has two lanes in one direction

车道数、坡度、坡长、车速组合 参数固定在某种情形下	不同大车混入率下通行能力提高百分比/%				
	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5
$n_1 i_1 l_1 v_1$	8.19	10.71	14.48	10.71	8.96
$n_1 i_1 l_2 v_2$	8.66	12.44	15.43	10.58	8.51
$n_1 i_2 l_3 v_1$	8.90	10.39	15.15	9.83	8.37
$n_1 i_2 l_4 v_2$	8.05	12.14	14.87	11.64	9.67
$n_1 i_3 l_3 v_1$	8.46	11.32	14.94	10.34	9.15

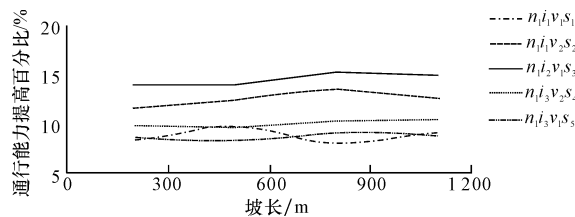


图4 通行能力提高与坡长的关系

Fig. 4 Relationship between improvement of traffic capacity and slope length

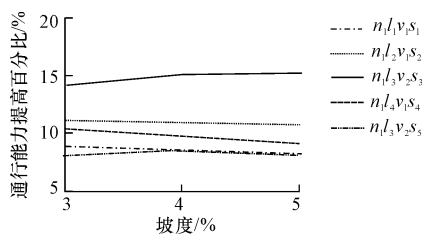


图5 通行能力提高与坡度的关系

Fig. 5 Relationship between improvement of traffic capacity and slope

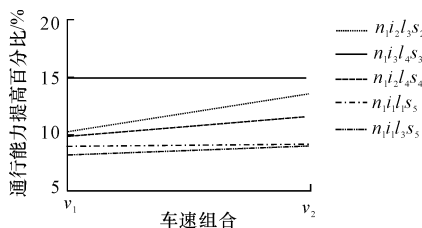


图6 通行能力提高与车速的关系

Fig. 6 Relationship between improvement of traffic capacity and speed

速组合为小车 81 km/h、大车 54 km/h。

由仿真结果可以得到以下结论。

(1)单向双车道增设一条爬坡车道后,爬坡路段的通行能力相对于没有设置爬坡车道时有所提高,且通行能力提高百分比区间为 8%~16%。因为在爬坡路段设置爬坡车道后,大型车几乎都在专用的爬坡车道上行驶,从而在爬坡路段实现了小型车与大型车的空间隔离,消除了大型车对小型车的影响,提高了小型车的运行速度。因此,爬坡路段的通行能力会有所提高。

(2)在其他条件不变的情况下,随着大车混入率的变化,爬坡路段的通行能力提高百分比基本呈抛物线型,如图 3 所示。其中在大车混入率为 30%时,通行能力提高百分比达到最大值,当大车混入率小于 30%时,随着大车混入率的增加,通行能力提

高百分比增大,而当大车混入率超过 30%时,通行能力提高百分比随大车混入率的增加而减小。

(3)爬坡路段的通行能力提高百分比与坡长、道路纵坡度、车速(入坡速度)有关,但相关性程度不高,具体见图 4~图 6。由图 4 可知,通行能力提高百分比随坡长的变化不大,略有微小波动;从图 5 可以看出,随着坡度的变化,通行能力提高百分比呈现出微小波动现象;据图 6 可知,通行能力提高百分比随车速(入坡速度)的降低而略有增大。

4.2 单向三车道增设一条爬坡车道有效性分析

根据爬坡路段交通流元胞自动机模型以及仿真方案,对单向三车道增设一条爬坡车道前后的爬坡路段的交通流状态进行仿真,由于仿真结果较多,本文根据仿真结果,挑选出具有代表性的仿真方案进行示例,即当车道数、道路纵坡、坡长、车速组合固定在某情形下,仅有大车混入率改变时,通行能力的变化,如下页表 3 和图 7 所示。

同样,可以得到坡长、坡度、车速组合与通行能力提高百分比的关系,选取典型的仿真方案结果进行示例,如下页图 8~图 10 所示。

由仿真结果可以得到以下结论。

(1)单向三车道增设一条爬坡车道后,爬坡路段的通行能力相对于未设置爬坡车道时有所提高,且通行能力提高百分比区间为 6%~15%,其原因与单向两车道相同。

(2)在其他条件不变的情况下,随着大车混入率的变化,爬坡路段的通行能力提高百分比呈抛物线型,如图 7 所示,其中在大车混入率为 20%时,通行能力提高百分比达到最大值;当大车混入率小于 20%时,通行能力提高百分比随大车混入率的增加而增大;而当大车混入率超过 20%时,随着大车混入率的增加,通行能力提高百分比减小。

(3)爬坡路段的通行能力提高百分比与坡长、道路纵坡度、车速(入坡速度)有关,但相关性程度不高,具体见下页图 8~图 10。其特征与单向两车道相同。

4.3 两者有效性变化对比分析

综合以上单向双车道与单向三车道增设一条爬坡车道后的仿真结果,结合图 3~图 10,可得到以下

表 3 不同大桥混入率下单向三车道增设一条爬坡车道后通行能力提高百分比

Tab. 3 Improvement of traffic capacity under different mixed rates of heavy vehicles after building a climbing lane on freeway which has three lanes in one direction

车道数、坡度、坡长、车速组合 参数固定在某种情形下	不同大桥混入率下通行能力提高百分比/%				
	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5
$n_2 i_1 l_2 v_2$	6.85	13.36	12.11	9.74	9.30
$n_2 i_1 l_1 v_2$	7.83	14.17	11.88	9.38	8.36
$n_2 i_1 l_4 v_2$	8.78	14.05	12.22	10.72	8.42
$n_2 i_2 l_3 v_1$	8.27	13.97	10.88	9.07	8.37
$n_2 i_3 l_4 v_2$	7.31	14.03	12.85	9.45	7.98

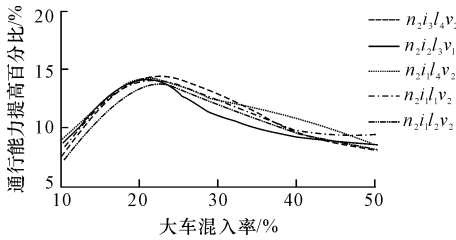


图 7 通行能力提高与大桥混入率的关系

Fig. 7 Relationship between improvement of traffic capacity and mixed rate of heavy vehicles

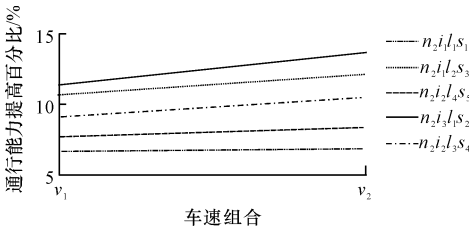


图 10 通行能力提高与车速组合的关系

Fig. 10 Relationship between improvement of traffic capacity and speed

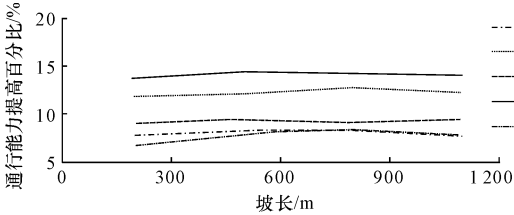


图 8 通行能力提高与坡长的关系

Fig. 8 Relationship between improvement of traffic capacity and slope length

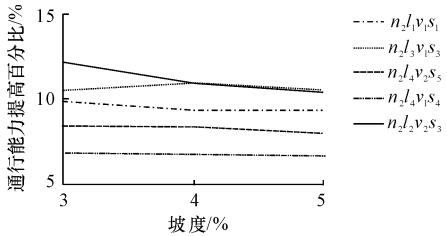


图 9 通行能力提高与坡度的关系

Fig. 9 Relationship between improvement of traffic capacity and slope

结论。

(1)增设爬坡车道后,爬坡路段的通行能力有所提高,单向双车道增设一条爬坡车道后通行能力提高百分比区间为 8%~16%;单向三车道增设一条爬坡车道后,爬坡路段的通行能力提高百分比区间

为 6%~15%。

(2)增设爬坡车道后,在其他条件不变的情况下,随着大桥混入率的变化,爬坡路段的通行能力提高百分比基本呈抛物线型,其中在大桥混入率为 30%时,单向双车道增设一条爬坡车道后的通行能力提高百分比达到最大值;而单向三车道增设一条爬坡车道后通行能力提高百分比的最大值在 20%处取得。

5 结 语

(1)爬坡路段的通行能力随车道数的增多而提高,随坡度的增大而降低,随坡长的增加时而降低、时而提高,随交通量的增大而提高,随车辆最大车速的增大而提高,随大桥混入率的增加而降低。

(2)单向双车道增设一条爬坡车道后,其通行能力提高百分比区间为 8%~16%,其中在大桥混入率为 30%时达到最大值;单向三车道增设一条爬坡车道后,其通行能力提高百分比区间为 6%~15%,其中在大桥混入率为 20%时达到最大值。

(3)增设爬坡车道后的通行能力提高百分比与坡长、坡度、车速有关,但相关性程度不高。

(4)爬坡路段道路通行能力的影响因素众多,包括道路条件、交通条件、管控条件和环境条件等,本文只从道路条件与交通条件进行通行能力的分析,没有考虑管控条件与环境条件。

参考文献:

References:

- [1] American Association of State Highway and Transportation Official. A policy on geometric design of highways and streets[M]. Washington DC: AASHTO, 2011.
- [2] Pal R, Sinha K C. Optimization approach to highway safety improvement programming[J]. Journal of the Transportation Research Record, 2007, 1640(1): 1-9.
- [3] 杨秋侠, 张毅. 高速公路爬坡车道设置[J]. 公路, 2005(9): 98-101.
YANG Qiu-xian, ZHANG Yi. Climbing lanes' setting of Highway [J]. Highway, 2005(9): 98-101. (in Chinese)
- [4] 翟卫华. 公路线形设计与运行速度及交通安全的关系分析[J]. 交通标准化, 2013(4): 85-88.
ZHAI Wei-hua. Analysis on relationship between operation speed and traffic safety on highway alignment design [J]. Communications Standardization, 2013 (4): 85-88. (in Chinese)
- [5] 周荣贵, 邢惠臣. 公路纵坡与汽车运行速度油耗之间的关系[J]. 公路交通科技, 1993, 10(1): 15-24.
ZHOU Rong-gui, XING Hui-chen, et al. The research report about the relationship among road longitudinal slope, running speed, the fuel of consumption [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 1993, 10(1): 15-24. (in Chinese)
- [6] 郭凤香, 熊坚. 山区公路交通安全保障措施模拟评价[J]. 交通运输工程学报, 2011, 11(5): 120-126.
GUO Feng-xiang, XIONG Jian. Simulation evaluation of safeguard measure for traffic safety on montane highway[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2011, 11(5): 120-126. (in Chinese)
- [7] 张逢桂. 山区高速公路长坡路段路线设计之探索[J]. 公路, 2012(1): 39-45.
ZHANG Feng-gui. Exploratory on route design of long slope sections of mountain highway [J]. Highway, 2012(1): 39-45. (in Chinese)
- [8] 杨奕, 施帮利, 徐鹏. 基于选择性随机减速的元胞自动机交通流模型[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2011, 33(7): 123-127.
YANG Yi, SHI Bang-li, XU Peng. One cellular automaton traffic flow model based on selective deceleration randomly [J]. Journal of Southwest University: Natural Science Edition, 2011, 33(7): 123-127. (in Chinese)
- [9] 林杉, 许宏科, 刘占文. 一种高速公路隧道交通流元胞自动机模型[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2012, 32(6): 73-77.
LIN Shan, XU Hong-ke, LIU Zhan-wen. One cellular automaton traffic flow model for expressway tunnel [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2012, 32(6): 73-77. (in Chinese)
- [10] 王永明, 周磊山, 吕永波. 基于元胞自动机交通流模型的车辆换道规则[J]. 中国公路学报, 2008, 21(1): 89-93.
WANG Yong-ming, ZHOU Lei-shan, LU Yong-bo. Vehicle lane changing rules based on cellular automata traffic flow model [J]. China Journal of Highway and Transportation, 2008, 21(1): 89-93. (in Chinese)
- [11] 章权, 张文标, 郭小辉, 等. 基于势能理论的山区公路交通流随机干扰模型[J]. 公路交通科技, 2011, 28(12): 133-137.
ZHANG Quan, ZHANG Wen-biao, GUO Xiao-hui, et al. Stochastic interference model of traffic flow on mountain road based on potential energy theory [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2011, 28(12): 133-137. (in Chinese)
- [12] 刘卫铮. 基于大车混入率的交通流状态安全性研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2007.
LIU Wei-zheng. Research of traffic flow state safety based on heavy vehicle mixed rate [D]. Tianjin: Hebei Industrial University, 2007. (in Chinese)