

文章编号:1671-8879(2014)03-0106-07

公路施工作业区层级限速方案实施效果评价

于仁杰,马荣国,王 皓,汪莉莉,梁国华,朱 宏

(长安大学 公路学院,陕西 西安 710064)

摘 要:为了对公路施工作业区层级限速方案实施效果作出合理评价,分析了公路施工作业区层级限速方案种类,从交通效率和交通安全的角度选取速度偏差变化系数、等效最小安全距离、平均车辆总延误、平均最大排队长度,作为公路施工作业区层级限速方案实施效果评价指标,在30种交通组成条件下应用交通仿真软件 VISSIM 对6种层级限速方案进行仿真,得出了实施效果评价指标值,并利用加权加法平分法对4种指标值进行综合评价。研究结果表明:当公路施工作业区交通量不大于1 080 pcu/h 且小车比率越大时,一级限速方案的效果较强;当公路施工作业区交通量介于1 080 与1 440 pcu/h 之间且小车比率越大时,二级限速方案的效果较强;当公路施工作业区交通量介于1 440 与1 800 pcu/h 之间,且小车比率越小时,三级限速方案的效果最佳。

关键词:交通工程;公路施工作业区;层级限速方案;实施效果;VISSIM;评价

中图分类号:U491

文献标志码:A

Evaluation of implementation effects of level speed limit programs in highway work zone

YU Ren-jie, MA Rong-guo, WANG Hao, WANG Li-li, LIANG Guo-hua, ZHU Hong

(School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: In order to evaluate the implementation effects of level speed limit programs in the highway work zone reasonably, the types of level speed limit programs were analyzed, and the coefficient of variation of the speed deviation, equivalent minimum safety distance, the average total delay time of vehicle and the average maximum queue length were selected as evaluation indicators of implementation effects of level speed limit programs in the highway work zone. Six level speed limit programs were simulated under 30 kinds of traffic composition conditions by using traffic simulation software VISSIM and values of evaluation indicators of implementation effects were drawn, then the values of four indicators were evaluated comprehensively by using a weighted addition ratings method. The results indicate that when traffic volumes in highway work zone $\leq 1\,080$ pcu/h and the rate of cars is larger, the implementation effect of one speed limit program is better; when $1\,080$ pcu/h \leq traffic volumes in highway work zone $\leq 1\,440$ pcu/h and the rate of cars is larger, the implementation effect of two speed limit program is better; when $1\,440$ pcu/h \leq traffic volumes in highway work zone $\leq 1\,800$ pcu/h and the rate of cars is smaller, the implementation effect of three speed limit program is the best. 7 tabs, 6 figs, 14 refs.

收稿日期:2013-08-09

基金项目:国家自然科学基金项目(51208053);四川省交通运输厅交通科技项目(2011A4-1-4)

作者简介:于仁杰(1968-),男,内蒙古扎赉特旗人,工学博士研究生,E-mail:18291831477@139.com。

Key words: traffic engineering; highway work zone; level speed limit program; implemented effect; VISSIM; evaluation

0 引 言

公路施工作业区层级限速是指为使车辆到达公路施工工作区的安全性、效率性更高,在公路施工工作区前连续渐变设置限速标志,使车辆由正常行驶速度,逐渐降低至最终限制速度。目前国内外在限速方面已经取得许多研究成果,Jongen 等分析重复限速标志对速度控制的影响,结果发现重复限速标志设置的频率越低,驾驶人超速的可能性越大,且当不设置重复标志时,驾驶人超速概率最高^[1];Hell-inga 等在可变限速系统(VSL)的基础上,提出了驾驶人遵守程度对可变限速措施的重要作用,发现驾驶人的遵守程度与安全性成正相关,与行程时间成负相关且影响的大小由可变限速策略决定^[2];Mc-murtry 等通过监测北万希普 9 656 m 施工作业区范围内驾驶人对 VSL 的反应情况,并将 VSL 可变限速标志与静态限速标志限速效果对比分析,发现可变限速标志能够有效降低施工作业区起点附近的速速^[3];王强等选取养护施工作业区的安全评价指标,应用仿真软件 VISSIM 仿真各种限速条件下的交通运行情况,对各种限速方案进行安全评价,得出较优的限速方案^[4];王薇等提出了基于强化学习和有限阶段马尔可夫决策的高速公路主线可变限速控制模型^[5];钟连德等研究了施工作业区 3 种限速设施的减速效果,发现设置单一限速标志效果有限,设置减速垄的效果较好^[6];孟祥海等应用 VISSIM 仿真软件对公路施工作业区进行仿真试验,结果表明施工作业区各区段的限速值应根据交通量设定,且在相同交通量水平下当限速值高于 50 km/h 时,交

通冲突数量会随着限速值提高而显著增加^[7];于仁杰等研究了高速公路施工区限速标志位置确定方法,结果表明一级限速标志确定方法适用于交通量较小的情况,二、三级限速标志位置确定方法适用于交通量大且排队长度向上游持续延伸的情况^[8]。

以上研究成果大多集中于对其限速标志设置的方法、限速值的计算模型、限速方案的选取等方面,这些都在一定程度上保障了公路施工作业区的安全以及提高了公路施工作业区的交通效率,但当在施工作业区车辆速度降到限制速度过程中只是给出了限速层级标准,但究竟选取几级限速效果最佳方面却涉及很少。为此,本文应用交通仿真软件 ISSIM 模拟 6 种层级限速方案在 150 种仿真方案中的运行情况,获得实施效果评价指标值,并对其实施效果综合评价。

1 层级限速方案的种类

在公路施工作业区设置层级限速方案时主要考虑的因素为:①考虑到布设限速标志的可操作性,层级限速值不应过多;②由于上游过渡区交通信息量的多元性以及驾驶人驾驶行为的复杂性,本文建议在警告区中设置限速标志;③限速值变化不宜过于频繁,以免驾驶人产生烦躁心理,本文建议递减量为 10~20 km/h 的层级限速方案^[9-10]。而通过相关交通数据调查和统计,界定高速公路正常路段上小型车的平均运行车速为 100~120 km/h,大型车的平均运行车速为 90~100 km/h,故本文将研究一级、二级及三级层级限速方案,并根据在上游过渡区采取的限速递减量和递减次数来给出各层级限速方案的种类,见表 1。

表 1 层级限速方案的种类
Tab. 1 Types of level speed limit programs

层级限速方 案种类	限速标志 个数/个	限速标志值间的 递减次数/次	限速标志值间的 递减量/(km·h ⁻¹)	层级限速方案举例			层级限速 方案简写
				第 1 个限速标 志值/(km·h ⁻¹)	第 2 个限速标 志值/(km·h ⁻¹)	第 3 个限速标 志值/(km·h ⁻¹)	
一级限速方案	1	0	0	40			40
				50			50
				60			60
二级限速方案	2	1	10	60	50		60-50
			20	60	40		60-40
			20	70	50		70-50
三级限速方案	3	2	10	70	60	50	70-60-50
			20	80	60	40	80-60-40

为针对性地分析施工作业区层级限速方案的实施效果,经大量调查表明车辆以 40~60 km/h 的速度经过施工作业区中的工作区时其安全性较高,所以本文将分析 40、50、60、60-40、70-50、80-60-40 这 6 种层级限速方案在公路施工作业区不同仿真方案下的实施效果。

2 实施效果评价指标

由于在高速公路上进行养护维修作业要封闭一部分车道,造成车辆运行环境恶化,通行能力变小,因此在公路施工作业区路段易发生追尾、拥挤、排队、换道行驶等现象,从而使公路施工作业区的安全度和交通效率大幅度下降。因此,为了评价不同层级限速方案实施效果情况,本文基于“安全性”和“交通效率”2 个角度,选取能突出反映公路施工作业区安全和交通效率的指标。安全性指标:速度偏差的变化系数(coefficient of variation of the speed deviation, CVSD)^[11]、等效最小安全距离(minimum safety distance equation, MSDE)^[12];交通效率指标:平均车辆总延误、平均最大排队长度。其中,交通效率指标不再详述,主要介绍 CVSD 和 MSDE 这 2 个指标。

2.1 CVSD

由于交通事件的出现,高速公路施工作业区的连续车流必然受到阻挡和干扰,会严重引起车头时距变小、交通干扰频繁、车速离散性变大,从而引起交通流不稳定。

大量研究证明速度的离散性与安全密切关联,车速离散程度与事故率之间存在真正相关的关系,车速标准偏差越大的地点其安全性能也越差。由于公路施工作业区不同区段上车辆的平均速度是不一样的,故为了消除车辆平均速度的影响,采用 CVSD 来评价公路施工作业区的各区段面安全性,记 CVSD 为 C_{CVSD} ,其计算模型为

$$C_{CVSD} = \frac{s}{\bar{v}} \tag{1}$$

式中: s 为在一定时间内通过该区段面的速度标准偏差(km/h); \bar{v} 为在一定时间内通过该区段面的地点平均车速(km/h)。

2.2 MSDE

在施工作业区中,因交通事件的发生使得交通流状态比正常状态下混乱且复杂,其交通冲突数增多、通行能力下降、车辆频繁变换车道等,所以在施工作业区采用不同的层级限速方案会对该施工作业

区车辆的安全性产生不同的影响作用,若限速方案效果较差,其施工作业区发生事故的风险性会变大,故施工作业区的安全性下降。

当在考虑交通事故风险性时,要考虑前后车辆的距离和前后车辆的速度差。前后车辆的距离越小,发生事故的风险性越大;前后车辆的速度差越大,发生事故的风险性越大。而 MSDE 可将前后车辆的距离和速度差结合在一起,综合考虑这 2 个因素对事故风险性的影响,选用 MSDE 指标对施工作业区事故风险性进行评价,以此对层级限速方案实施效果情况进行评价。记 MSDE 为 M_{MSDE} ,其计算模型为

$$M_{MSDE} = 1.47(V_L h - V_F S_P) + \frac{V_L^2 - V_F^2}{30(f \pm g)} \tag{2}$$

式中: V_L 为前车车速(km/h); h 为车头时距(s); V_F 为后车车速(km/h); S_P 为车辆安全时距(s); f 为路面摩擦因数; g 为道路纵坡(%)。

M_{MSDE} 随着车头时距 h 的减小、前车车速的减小以及后车车速的增大而减小。当 $M_{MSDE} > 0$ 时,代表两车之间保持着安全车距;当 $M_{MSDE} \leq 0$ 时,代表两车间存在着潜在的危险,且当 M_{MSDE} 负值绝对值越大,事故风险性也越大。

3 层级限速方案的仿真

3.1 仿真方案

仿真方案由选用的 6 种层级限速方案和公路施工作业区不同的交通组成条件组合形成,以施工作业区通行能力 1 800 pcu/h 为交通量上限,对不同层级限速方案实施效果进行评价,而对超过通行能力的情形不予以考虑。本文选用的交通组成条件共 30 种,见表 2。

表 2 公路施工作业区仿真的交通组成条件
Tab. 2 Traffic composition condition of simulation in highway work zone

小车与大车的比例	交通量/(pcu · h ⁻¹)				
	600	900	1 200	1 500	1 800
0 : 10	a_1	b_1	c_1	d_1	e_1
2 : 8	a_2	b_2	c_2	d_2	e_2
4 : 6	a_3	b_3	c_3	d_3	e_3
6 : 4	a_4	b_4	c_4	d_4	e_4
8 : 2	a_5	b_5	c_5	d_5	e_5
10 : 0	a_6	b_6	c_6	d_6	e_6

由选用的 6 种层级限速方案和 30 种交通组成条件组合形成的仿真方案共 150 种,如下页表 3 所示。

表 3 仿真方案
Tab. 3 Simulation programs

交通组成条件 ($i=1,2,\cdots,6$)	层级限速方案					
	40	50	60	70-50	60-40	80-60-40
a_i	a_{i1}	a_{i2}	a_{i3}	a_{i4}	a_{i5}	a_{i6}
b_i	b_{i1}	b_{i2}	b_{i3}	b_{i4}	b_{i5}	b_{i6}
c_i	c_{i1}	c_{i2}	c_{i3}	c_{i4}	c_{i5}	c_{i6}
d_i	d_{i1}	d_{i2}	d_{i3}	d_{i4}	d_{i5}	d_{i6}
e_i	e_{i1}	e_{i2}	e_{i3}	e_{i4}	e_{i5}	e_{i6}

3.2 仿真建模

3.2.1 仿真参数

本文以工作区占用单幅外侧 1 车道的双向 4 车道公路施工作业区为研究对象。

(1)根据《公路养护安全作业规程》,施工作业区中各区段的长度见表 4。

表 4 双向 4 车道公路作业区各区段的长度
Tab. 4 Length of each section of two-way four-lane highway work zone

区段名称	警告区	上游过渡区	缓冲区	工作区	下游过渡区	终止区
长度	1 600	200	50	500	50	30

(2)假定 VISSIM 仿真模型中小型车的期望车速为 100~120 km/h,大型车的期望车速为 90~100 km/h^[13]。

(3)仿真时间定为 3 600 s。为减少仿真过程的随机性,分 5 次进行仿真,每次均采用不同的种子数,最终结果取 5 次仿真的平均值。

3.2.2 仿真模型

根据表 4 建立占用单幅外侧 1 车道的双向 4 车道高速公路施工作业区仿真模型,设置“车辆输入”、“路径”“期望车速决策点”等,不同层级限速方案期望车速决策点设置位置即为层级限速方案中限速标志布设位置,其仿真模型和层级限速标志布设位置分别见图 1 和表 5。

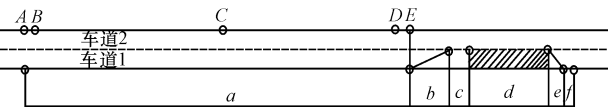


图 1 仿真模型
Fig. 1 Simulation model

在图 1 中,B、C、D 为层级限速标志布设位置且 BC 和 CD 段均取值为 700 m;AB 段为限速标志的后置距离,取值 100 m;DE 段为限速标志的前置距离,取值 100 m^[8];a 为警告区,b 为上游过渡区,c 为缓冲区,d 为工作区,e 为下游过渡区,f 为终止区。

表 5 层级限速标志的布设位置
Tab. 5 Installation positions of level speed limit signs

层级限速 方案种类	层级限速标志		
	第 1 个限速标志	第 2 个限速标志	第 3 个限速标志
一级	D		
二级	B	D	
三级	B	C	D

4 仿真效果评价

4.1 单指标评价

由于本文评价 6 种层级限速方案在 30 种交通组成条件下施工作业区实施效果的过程类似,故选取 6 种层级限速方案在交通组成条件 C₄ 下的实施效果评价为例进行详述,在其他交通组成条件下的实施效果评价过程相同。

通过仿真,6 种限速方案的实施效果评价指标仿真结果如图 2、下页图 3~图 5 所示。

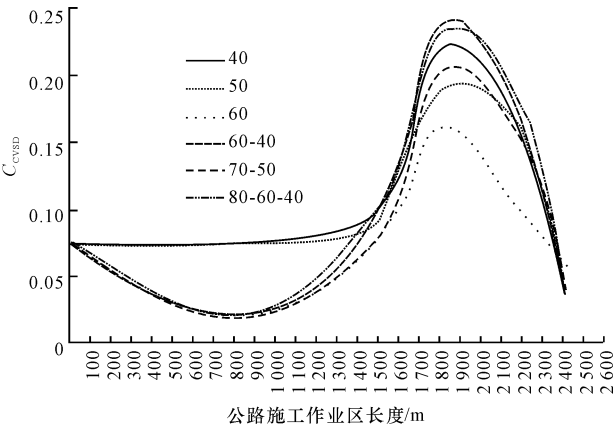


图 2 CVSD 的仿真结果
Fig. 2 Simulation results of CVSD

从图 2 可看出,CVSD 值在各种情况下的变化趋势和规律基本一致。如果一个区段限速值较高,车速可供选择的范围较小,相应的离散性也就较小,相应的 CVSD 值也就较小。故方案 50 和方案 70-50 实施效果较好,其他方案实施效果较差。

从下页图 3 可看出,在各种路段情况下的 MS-DE 值变化趋势和规律基本一致。在警告区道路条件良好时,如果速度降幅过大,则容易发生交通事故,不利于交通安全,所以这时限速较高的方案占优;但到了上游过渡区、缓冲区和在工作区时,道路条件发生改变、出现交通瓶颈,汇车间隙不能满足汇流要求时,就会出现停车排队的现象,此时,速度降幅较大的限速方案安全性就较差。故方案 50 和方案 60 实施效果较好,其他方案实施效果较差。

由于平均最大排队长度越小越好,从图 4 可看

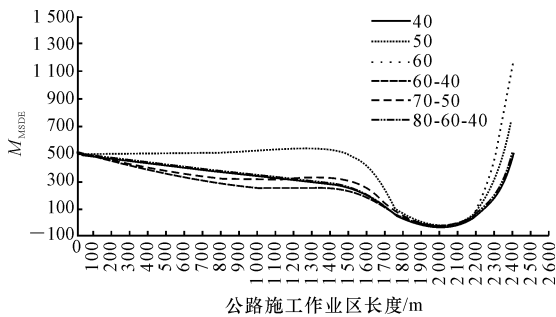


图 3 MSDE 的仿真结果

Fig. 3 Simulation results of MSDE

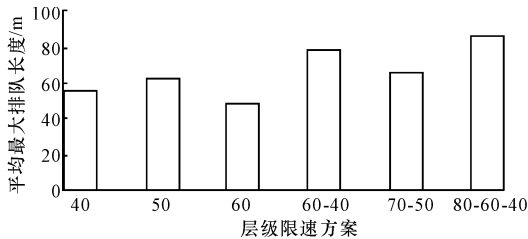


图 4 平均最大排队长度的仿真结果

Fig. 4 Simulation results of average maximum queue length

出,方案 60 实施效果最好、方案 80-60-40 实施效果最差。

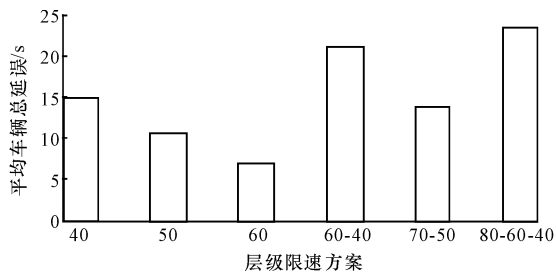


图 5 平均车辆总延误的仿真结果

Fig. 5 Simulation results of average total delay time of vehicle

由于平均车辆延误时间越小越好,从图 5 可看出,方案 60 实施效果最好、方案 80-60-40 实施效果最差。

4.2 综合评价

从图 2~图 5 的仿真结果可以看出,根据 6 种限速方案的 4 种指标值所选的最佳方案是不一样的,从而影响到对层级限速方案实施效果的评价,故应对这 4 种指标值进一步处理,以此进行综合评价,所以本文选用加权加法评分法对其进行综合评价^[14]。

基于加权加法评分法的层级限速方案实施效果评价的方法和步骤如下。

步骤 1: 层级限速方案实施效果分析指标值的量纲一化,公式为

$$\tilde{S}_{ij} = \begin{cases} \frac{S_{ij} - S_{\min}}{S_{\max} - S_{\min}}, & S_{ij} \text{ 为越大越好的指标} \\ \frac{S_{\max} - S_{ij}}{S_{\max} - S_{\min}}, & S_{ij} \text{ 为越小越好的指标} \end{cases}$$

$$S_{\min} = \min \{S_{1j}, S_{2j}, \dots, S_{6j}\}, S_{\max} = \max \{S_{1j}, S_{2j}, \dots, S_{6j}\} \quad (3)$$

式中: S_{ij} 为第 i 个层级限速方案的第 j 个指标值 ($i=1, \dots, 6, j=1, \dots, 4$); \tilde{S}_{ij} 为第 i 个层级限速方案的第 j 个指标值的量纲一化值。

步骤 2: 层级限速方案实施效果评价指标权重的确定。

相对比较法是一种经验评分法。它将所有指标列出来,组成一个 $N \times N$ 的方阵,然后对各指标两两比较并打分,最后对各指标的得分求和,并作规范化处理。方阵中元素可以按照下面的规则进行确定,并满足 $a_{ij} + a_{ji} = 1$ 。

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{第 } i \text{ 个指标比第 } j \text{ 个指标重要} \\ 0.5, & \text{第 } i \text{ 个指标和第 } j \text{ 个指标同样重要} \\ 0, & \text{第 } i \text{ 个指标没第 } j \text{ 个指标重要} \end{cases} \quad (i, j=1, \dots, 4) \quad (4)$$

式中: a_{ij} 为第 i 个指标相对第 j 个指标重要程度的评分值。

则第 i 个指标的权重系数为

$$\omega_i = \frac{\sum_{j=1}^4 a_{ij}}{\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 a_{ij}}, \quad i, j=1, \dots, 4 \quad (5)$$

式中: ω_i 为第 i 个指标的权重系数。

本文从施工作业区的安全性比交通效率重要的角度考虑,4 种实施效果评价指标的重要性程度为: CVSD 与 MSDE 同等重要,均大于另外 2 种指标,平均最大排队长度与平均车辆总延误也是同等重要。

根据相对比较法和式(5),即可计算出 CVSD、MSDE、平均最大排队长度、平均车辆总延误各自的权重系数,其结果见下页表 6。

步骤 3: 层级限速方案实施效果综合评价值的计算

第 i 个层级限速方案实施效果的综合评价值的计算公式为

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^4 \omega_j \tilde{S}_{ij} \quad (i=1, \dots, 6; j=1, \dots, 4) \quad (6)$$

式中: \tilde{S}_i 为第 i 个层级限速方案实施效果的综合评价价值。

则 6 种层级限速方案在交通组成条件 C_4 下实施效果的综合评价价值见下页表 7。

表 6 实施效果评价指标的权重系数

Tab. 6 Weight coefficients of evaluation indicators of implementation effects

评估指标	实施效果评价指标					权重 w_i
	CVSD	MSDE	平均最大排队长度	平均车辆总延误	得分合计	
C_{CVSD}	0.5	0.5	1.0	1.0	3	0.375
M_{MSDE}	0.5	0.5	1.0	1.0	3	0.375
平均最大排队长度	0	0	0.5	0.5	1	0.125
平均车辆总延误	0	0	0.5	0.5	1	0.125
合计					8	1.000

表 7 6 种层级限速方案实施效果的综合评价

Tab. 7 Comprehensive evaluation indicators of implementation effects of six level speed limit programs

层级限速方案	40	50	60	60-40	70-50	80-60-40
综合评价	0.474	0.700	0.649	0.380	0.610	0.266

由表 7 可得出这 6 种分级限速方案在 C_4 下实施效果从强到弱排序为:50,60,70-50,40,60-40,80-60-40。

同理可得 150 种仿真方案实施效果的综合评价,如图 6 所示。

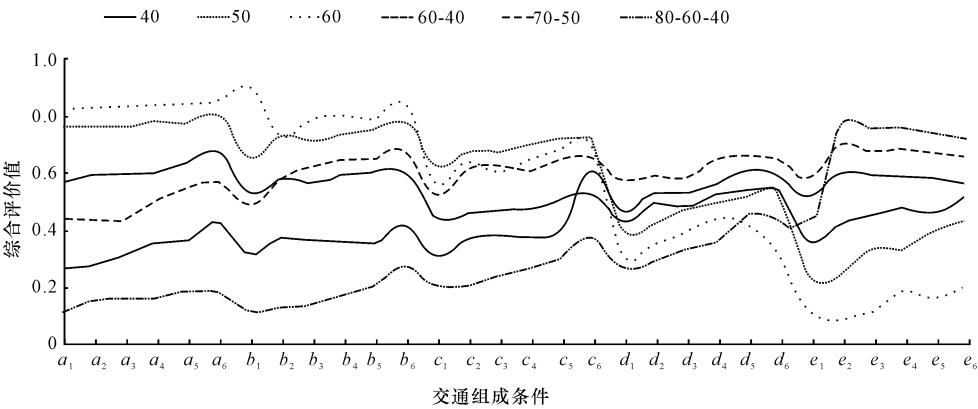


图 6 150 种仿真方案实施效果的综合评价

Fig. 6 Comprehensive evaluation of implementation effects of 150 simulation programs

从图 6 可看出:①当公路施工作业区交通流量 $Q \leq 1\,080\text{ pcu/h}$ 且小车率越大时,一级限速方案的效果较强,其中一级限速方案 60 的实施效果最佳;②当 $1\,080\text{ pcu/h} \leq Q \leq 1\,440\text{ pcu/h}$ 且小车率越大时,二级限速方案的效果较强,其中二级限速方案 70~50 的实施效果最佳;③当 $1\,440\text{ pcu/h} \leq Q \leq 1\,800\text{ pcu/h}$ 且小车率越小时,三级限速方案 80-60-40 的实施效果最佳。

由以上分析可以看出,本文公路施工作业区层级限速方案实施效果评价具有一定的合理性,层级限速方案在不同交通组成条件下的实施效果不同。当公路施工作业区交通流量较小且小车比率较大时,可考虑采用一级或二级限速方案;当公路施工作业区交通流量较大、接近公路施工作业区通行能力且大车比率较大时,方可考虑采用三级限速方案,这样才能使层级限速方案的实施效果达到最佳、能更有效

地保障公路施工作业区交通安全和提高交通效率。

5 结 语

(1)依托交通仿真软件 VISSIM 模拟 6 种层级限速方案在 150 种仿真方案中的运行情况,获得实施效果评价指标值,并应用加权加分评分法对这 6 种限速方案的指标值进行实施效果综合评价。结果表明:公路施工作业区交通流量较小且小车比率较大时,可考虑采用一级或二级限速方案;公路施工作业区交通流量较大、接近公路施工作业区通行能力且大车比率较大时,可考虑采用三级限速方案。

(2)仅从安全和效率角度评价了层级限速的实施效果,实际上公路施工作业区层级限速方案实施效果还受道路条件、管制等因素的影响,在后续研究中,应着重考虑这些因素影响下公路施工作业区层级限速方案的实施效果。

参考文献:

References:

- [1] Jongen E M, Brijs K, Mollu K, et al. 70 km/h speed limits on former 90 km/h roads effects of sign repetition and distraction on speed[J]. The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 2011, 53(6):771-785.
- [2] Hellinga B, Mandelzys M. Impact of driver compliance on the safety and operational impacts of freeway variable speed limit systems[J]. Journal of Transportation Engineering, 2011, 137(4):260-268.
- [3] Mcmurtrey T, Satio M, Riffkin M, et al. Variable speed limits signs; effects on speed and speed variation in work zones [J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2009, 33(2):159-174.
- [4] 王 强,王显璞. 高速公路养护施工作业区限速控制研究[J]. 交通信息与安全, 2010, 28(1):124-129.
WANG Qiang, WANG Xian-pu. Speed-limiting control of freeway work zone[J]. Journal of Transport Information and Safety, 2010, 28(1):124-129. (in Chinese)
- [5] 王 薇,杨兆升,赵丁选. 有限阶段马尔可夫决策的可变限速控制模型[J]. 交通运输工程学报, 2011, 11(5):110-114.
WANG Wei, YANG Zhao-sheng, ZHAO Ding-xuan. Control model of variable speed limit based on finite horizon Markov decision-making[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2011, 11(5):110-114. (in Chinese)
- [6] 钟连德,李秀文,侯德藻,等. 公路施工作业区限速措施效果评价研究[J]. 公路, 2010(3):177-180.
ZHONG Lian-de, LI Xiu-wen, HOU De-zao, et al. Research on evaluation of speed reduction measures in highway work zone[J]. Highway, 2010(3):177-180. (in Chinese)
- [7] 孟祥海,郑 来,毕海峰,等. 高速公路半幅封闭施工作业区交通特性与交通冲突特性研究[J]. 中国公路学报, 2013, 26(2):140-146.
MENG Xiang-hai, ZHENG Lai, BI Hai-feng, et al. Research on traffic characteristics and traffic conflicts of one-way closed work zone on expressway[J]. China Journal of Highway and Transport, 2013, 26(2):140-146. (in Chinese)
- [8] 于仁杰,马荣国,韩 海,等. 高速公路施工作业区限速标志位置确定方法[J]. 交通运输工程学报, 2013, 13(5):91-98.
YU Ren-jie, MA Rong-guo, HAN Hai, et al. Determination method of speed-limit sign position in expressway work zone[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2013, 13(5):91-98.
- [9] 王建强,杨云峰,习江鹏,等. 基于熵值法的高速公路改扩建模式选择[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2010, 30(1):40-45.
WANG Jian-qiang, YANG Yun-feng, XI Jiang-peng, et al. Selection of expressway reconstruction models based on entropy method. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2010, 30(1):40-45. (in Chinese)
- [10] 狄胜德,唐铮铮,杨曼娟,等. 基于视认性的国际通道交通标志设计方法研究[J]. 公路交通科技, 2011, 28(4):124-129.
DI Sheng-de, TANG Cheng-cheng, YANG Man-juan, et al. Study on design of traffic sign for international channel based on visual recognition[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2011, 28(4):124-129. (in Chinese)
- [11] 梅子俊,刘唐志,唐伯明. 二级公路全封闭施工交通组织优化方法研究[J]. 重庆交通大学学报:自然科学版, 2013, 32(3):455-484.
MEI Zi-jun, LIU TANG-zhi, TANG Bo-ming. Traffic organization optimization method of fully enclosed construction of secondary road [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Science, 2013, 32(3):455-484. (in Chinese)
- [12] 韦勇球,赵利苹,袁春建,等. 高速公路改扩建交通组织仿真[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2012, 32(4):38-43.
WEI Yong-qiu, ZHAO Li-ping, YUAN Chun-jian, et al. Traffic organization simulation of expressway rebuilding project[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2012, 32(4):38-43. (in Chinese)
- [13] 包佳佳,刘 琪. VISSIM 微观仿真系统在高架路设计中的应用[J]. 上海交通大学学报, 2011, 45(增1):90-92.
BAO Jia-jia, LIU Qi. Microscopic simulation system VISSIM and Its application to expressway[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2011, 45(S1):90-92. (in Chinese)
- [14] 翁 依. 规划设计方案比选的综合评价方法及其应用[J]. 黑龙江大学自然科学学报, 2009, 26(3):299-302.
WENG Yi. The comprehensive evaluation method and its application for comparison and choice of planning and design[J]. Journal of Natural Science of Heilongjiang University, 2009, 26(3):299-302. (in Chinese)