

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2021.03.071

基于 VISSIM 仿真的高速公路改扩建工作区布设分析

张宇¹, 吴忠广^{1*}, 田万利¹, 朱文海², 孙晓军³, 李娟¹(1. 交通运输部科学研究院标准与计量研究中心, 北京市 100029; 2. 安徽省交通控股集团有限公司;
3. 浙江省交通工程管理中心)

摘要:为探究高速公路改扩建期间工作区合理布设长度,基于 VISSIM 构建了双向四车道高速公路改扩建封闭半幅车道和封闭外侧车道两种模式下工作区分段布设和连续布设仿真模型,选取交通密度、平均行程时间和平均行程延误为评价指标,利用灰色聚类评价法对仿真结果进行评价。结果表明:工程中采用的 5 000 m 工作区长度较为合理;两种道路封闭方式区别不大,在交通组织方案设计时均可选取;当要求道路服务水平为良时,建议采用连续布设方式以缩短工期,减少费用。

关键词:高速公路;改扩建;工作区长度;交通仿真

1 引言

中国高速公路已经逐步进入到改扩建阶段。高速公路改扩建工程通常是对于建造时间比较早、不能满足日益繁重交通需求的双向四车道高速公路。高速公路改扩建施工期间需要封闭较长距离的部分车道或半幅车道,造成施工作业相关区段车流行驶不畅、车辆延误较大,降低了高速公路服务水平。合理的工作区布设长度对高速公路改扩建施工期间保持较高的服务水平具有重要的作用和意义。

高速公路改扩建工程施工工作区合理长度一直是困扰施工企业的一个难题,目前高速公路改扩建施工工作区布设长度主要参考 JTG H30—2015《公路养护安全作业规程》,该规范对养护施工作业施工各个区段的长度做了不宜超过某个数值的建议。在改扩建施工中直接参考具有一定的盲目性和随意性,不适合改扩建施工实际。在实际操作中,施工单位期望工作区长度较长,以方便施工、加快施工进度,减少施工成本。而从道路服务水平、安全等方面来考虑,要求工作区长度不能过长。因此,施工单位通常进行工作区的分段布设,两个工作区之间间隔 5 km。而在分段布设时,车辆在施工控制区和间隔区之间频繁的换道、加减速

等,对道路服务水平和道路安全产生一定的负面影响。在理论研究上,对道路改扩建工程工作区合理长度的研究是多方面的。

目前的研究主要借鉴养护作业施工标准和经验,考虑单个工作区最佳长度确定。而高速公路改扩建施工长度较长,现有研究缺少从整体上对封闭半幅车道和封闭外侧车道下工作区合理长度及道路服务水平的研究。基于此,该文以设计速度为 120 km/h 双向四车道高速公路改扩建路段限速在 60 km/h 为例,构建评价指标体系,运用灰色聚类方法对 VISSIM 仿真的封闭外侧车道和封闭半幅车道模式下连续布设和分段布设工作区方式之间道路服务水平进行评价,以分析工作区合理布设长度。

2 仿真评价体系确定

2.1 评价指标选取

评价指标应反映出高速公路改扩建施工工作区长度和封闭车道方式的不同对高速公路服务水平的影响程度。目前中国道路服务水平评价指标的研究主要集中在公路养护作业施工,通常由车流量、路段饱和度、平均车速、平均行程时间、车道占有率、交通密度、平均行程延误和排队长度共 8 个指标构成。而高速公路改

收稿日期:2020-11-29(修改稿)

基金项目:安徽省交通控股集团有限公司科技项目(编号:2018BAS20185);浙江省交通质监行业科技计划项目(编号:ZJ201901)

作者简介:张宇,女,副研究员。E-mail:zhangyu@motcats.ac.cn

* 通信作者:吴忠广,男,高级工程师。E-mail:kinliwu@163.com

扩建工程与养护作业工程相比,需要占用、封闭较长距离的车道,对高速公路通行能力、平均行驶速度、行程延误和交通密度等方面影响较大。考虑到 VISSIM 仿真的实现过程及对比不同长度和封闭方式下的道路服务水平,选取平均行程延误、平均行程时间、交通密度为高速公路改扩建期间服务水平评价指标。

2.2 评价标准选取

评价标准是衡量高速公路改扩建时道路服务水平的一把尺子。依据国内外关于道路服务水平相关指标的研究现状,参考 JTG B01—2014《公路工程技术标准》及文献[15],确定限速 60 km/h 时各指标的评价标准,见表 1。

表 1 限速 60 km/h 各指标评价标准

等级	交通密度/[pcu·(km·ln) ⁻¹]	平均行程时间/(s·km ⁻¹)	平均行程延误/[s·(veh·km) ⁻¹]
优	<7	<62	<3
良	[7~18)	[62~72)	[3~6)
一般	[18~25)	[72~80)	[6~13)
较差	[25~45]	[80~90]	[13~39]
差	>45	>90	>39

3 评价模型构建

3.1 评价方法选取

对高速公路服务水平综合评价的方法有多种,目前大多采用层次分析法、统计分析法、德尔菲法和灰色

聚类评价方法等多指标综合评价方法,每种方法都有其优缺点和最佳的适用场景。灰色聚类评价法是灰色系统理论中的一种评价方法,按照多个不同的“灰色”特征指标进行综合评价。通常,高速公路改扩建工作区道路服务水平的综合评价,由于涉及因素多,且各因素之间相互有一定的影响,在对各指标进行评价时,带有一定的“灰色”特征。因此,可将灰色聚类评价方法应用于高速公路改扩建工作区道路服务水平状况的综合评定。

3.2 灰色聚类评价方法主要步骤

(1) 建立样本矩阵

聚类对象取 $i=1,2,\dots,n$, 聚类指标取 $j=1,2,\dots,m$, 记 $k=1,2,\dots,n$ 为灰类, d_{ij} 为第 i 个聚类对象关于第 j 个聚类指标的样本值, 则样本矩阵可表示为:

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1m} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} & \cdots & d_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

(2) 确定白化函数

假设第 j 个聚类指标对于第 k 个灰类的白化权函数 $f_{jk}(d_{ij})$, $j=1,2,\dots,m$, $k=1,2,\dots,n$ 。对于所有的聚类指标,都必须确定对于每个聚类的白化权函数,包括函数的形状、起止点及阈值。对应的灰类和白化函数如下:

第一类:对于指标 j ,规定白化函数 $f_{j1}(d_{ij})$,其白化函数的阈值取高速公路改扩建路段服务水平的分级标准,其峰值为 1。

$$f_{j1}(d_{ij}) = \begin{cases} [d_{ij} - \lambda_{j1}(1)] / [\lambda_{j1}(2) - \lambda_{j1}(1)], & d_{ij} \in [\lambda_{j1}(1), \lambda_{j1}(2)] \\ f_{j1}(s), & d_{ij} \in [\lambda_{j1}(2), \infty] \end{cases} \quad (2)$$

第二类:对于指标 j ,规定白化函数为 $f_{j2}(d_{ij})$ 。

$$f_{j2}(d_{ij}) = \begin{cases} [d_{ij} - \lambda_{j2}(1)] / [\lambda_{j2}(2) - \lambda_{j2}(1)], & d_{ij} \in [\lambda_{j2}(1), \lambda_{j2}(2)] \\ -[d_{ij} - \lambda_{j2}(2)] / \{[\lambda_{j2}(3) - \lambda_{j2}(2)] + f_{j2}(s)\}, & d_{ij} \in [\lambda_{j2}(2), \lambda_{j2}(3)] \end{cases} \quad (3)$$

第三类:对于指标 j ,规定白化函数为 $f_{j3}(d_{ij})$ 。

$$f_{j3}(d_{ij}) = \begin{cases} f_{j3}(s), & d_{ij} \in [-\infty, \lambda_{j3}(2)] \\ -[d_{ij} - \lambda_{j3}(2)] / \{[\lambda_{j3}(3) - \lambda_{j3}(2)] + f_{j3}(s)\}, & d_{ij} \in [\lambda_{j3}(2), \lambda_{j3}(3)] \end{cases} \quad (4)$$

(3) 确定聚类权重系数

$$\gamma_{ij} = S_{jk} / S_j \quad (5)$$

$$\eta_{jk} = \gamma_{ij} / \sum_{j=1}^m \gamma_{jk} \quad (6)$$

式中: S_{jk} 为第 j 个聚类指标第 k 个灰类的标准值; S_j 为第 j 个聚类指标的参考值; γ_{ij} 为第 j 个聚类指标第 k 个灰类的无量纲值; η_{jk} 为第 j 个聚类指标第 k 个灰

类的无量纲值; η_{jk} 为各指标灰类的权重值。

(4) 求聚类系数

记第 i 个聚类对象关于第 k 个灰类的聚类系数为 σ_{ik} , 则:

$$\sigma_{ik} = \sum_{j=1}^m f_{jk}(d_{ij}) \eta_{jk} \quad (7)$$

(5) 构造聚类向量

根据白化函数值与权系数矩阵的乘积确定出聚类矩阵,并构造聚类向量。记第 i 个聚类对象的行向量为 σ_i ,则:

$$\sigma_i = \{\sigma_{i1}, \sigma_{i2}, \dots, \sigma_{in}\} \quad (8)$$

(6) 服务水平等级确定

按聚类系数最大归类原则,即可判断出聚类对象属于哪一级。

$$\sigma_{ik}^* = \max\{\sigma_{i1}, \sigma_{i2}, \dots, \sigma_{in}\} \quad (9)$$

则 σ_i 中最大的元素所对应的灰类 k^* 即为服务水平所处等级。

4 仿真试验

4.1 封闭外侧单车道模式

封闭外侧车道模式为仅封闭外侧车道,内侧车道可以继续通行。中央分隔带将双向车流分隔,对向车流之间不产生影响。因此,可以不考虑对向车流对本侧车流的影响。

4.1.1 仿真试验设计

仿真路段设计时速 120 km/h,车道宽 3.75 m,中央分隔带宽 3.5 m,道路纵坡为 0%,车型为小汽车和大型车 2 种,道路通行能力取值为 1 800 pcu/(h · ln),大车率为 20%。控制区限速方案、各区段的长度、限速标志设置位置根据 JTG H30—2015《公路养护安全作业规程》中的相关规定选取,在警告区 800 m 处设置 80 km/h 限速标志,在警告区 1 200 m 处设置 60 km/h 限速标志,在进入过渡区段时采用提前合流为单车道的过渡模式。高速公路改扩建工作区连续布设方式下各区段布置形式见图 1,其中 $S=1\ 600\text{ m}$, $L_s=12\text{ m}$, $H=80\text{ m}$, $L_x=30\text{ m}$, $Z=30\text{ m}$ 为各区段的长度取值。 G 为分段布设时工作区长度,则 nG 为连续布设时工作区长度。高速公路改扩建工作区分段布设时各区段布置形式见图 2,其中 X 为两个控制区之间的间距,参考 JTG H30—2015《公路养护安全作业规程》的规定,两个工作区间距取值为 5 km,因此 X 的取值为 3 140 m。

高速公路改扩建路段通常很长。为了研究方便,该文选取当 $n=2$ 时,即仅通过对比连续布设工作区长度为分段布设作业区长度 2 倍时的情形。参考文献 [4],选取服务水平在优良状态下的工作区长度作为研究长度,在作业区分段布设时,每段工作区的长度为 G ,其取值分别为 2 000、2 800、4 000、5 000(实际工程中作业区长度)、6 300、7 500、8 300 和 9 400 m,当工

作区连续布设时,每段工作区的长度为 $2G$ 。

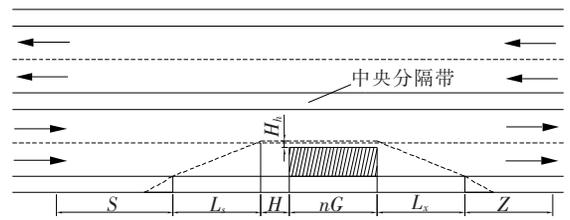


图 1 封闭外侧车道的作业区布置图

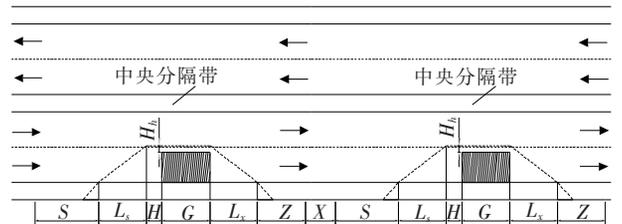


图 2 封闭外侧车道的施工区分段连续布设

4.1.2 仿真试验结果

利用 VISSIM 仿真不同长度工作区下的交通密度、平均运行时间和平均行程延误,结果见表 2。

表 2 封闭外侧车道施工控制路段仿真试验数据

G/m	布设方式	交通密度/	平均行程	平均行程
		$[\text{pcu} \cdot (\text{km} \cdot \text{ln})^{-1}]$	时间/ $(\text{s} \cdot \text{km}^{-1})$	延误/ $[\text{s} \cdot (\text{veh} \cdot \text{km})^{-1}]$
2 000	分段布设	11.62	59.51	6.14
	连续布设	16.12	67.47	6.77
2 800	分段布设	12.28	60.97	6.61
	连续布设	17.14	67.95	6.73
4 000	分段布设	13.37	62.31	6.39
	连续布设	15.75	69.31	7.38
5 000	分段布设	13.91	62.76	7.01
	连续布设	16.00	68.01	6.92
6 300	分段布设	13.50	63.89	6.72
	连续布设	17.59	69.09	7.13
7 500	分段布设	14.03	64.58	6.72
	连续布设	17.91	69.20	7.09
8 300	分段布设	14.51	64.91	6.74
	连续布设	18.44	69.54	7.16
9 400	分段布设	15.02	65.36	6.73
	连续布设	18.62	69.92	7.21

由表 1 可知:限速 60 km/h 下的 3 个指标参数的

白化值相差较大,因此需要对其进行无量纲化处理。根据式(5),无量纲化后的指标分级标准见表3。

表3 无量纲化后的指标分级标准

等级	交通密度	平均行程时间	平均行程延误
优	<0.16	<0.69	<0.08
	0.16	0.69	0.08
良	0.28	0.74	0.12
	0.40	0.80	0.15
一般	0.40	0.80	0.15
	0.48	0.84	0.24
较差	0.56	0.89	0.33
	0.56	0.89	0.33
差	0.77	0.94	0.37
	1.00	1.00	1.00

根据式(6),可得到各指标等级的权重,见表4。

表4 各等级下的指标权重

等级	交通密度	平均行程时间	平均行程延误
优	0.17	0.75	0.08
良	0.24	0.65	0.10
一般	0.31	0.54	0.16
较差	0.31	0.40	0.29
差	0.33	0.33	0.33

根据式(7),计算得到各工作区长度下的灰类系数 σ_i ,结果见表5。

根据式(8),封闭外侧单车道时,不同工作区长度下两种布设方式的服务水平灰类值和服务水平见表6。从表6可知:当 G 取值为5 000 m及更小、大于9 400 m时,工作区分段布设的服务水平好于连续布设,当 G 取值为6 300~8 300 m时,两种布设方式道路服务水平均为良。随着 G 取值增大,两种布设方式的服务水平均呈现下降趋势,工作区长度的增加降低道路服务水平。采用分段布设工作区方案时,8种长度的工作区道路服务水平均在良以上;且当 G 选取5 000 m及更短时,服务水平为优,说明实际工程中采用5 000 m作为工作区长度较为合理。采用连续布设工作区方案时, G 的取值大于等于9 400 m时的道路服务水平为一般,小于9 400 m时道路服务水平为良。在实际工程应用中要求道路服务水平为优时,建议采

表5 封闭外侧车道模式下各工作区长度灰聚类系数

G/m	布设方式	优	良	一般	较差	差
2 000	分段布设	0.86	0.20	0	0	0
	连续布设	0.53	0.57	0.19	0	0
2 800	分段布设	0.84	0.23	0	0	0
	连续布设	0.53	0.64	0.26	0	0
4 000	分段布设	0.83	0.2	0.05	0	0
	连续布设	0.41	0.62	0.18	0	0
5 000	分段布设	0.83	0.18	0.08	0	0
	连续布设	0.53	0.59	0.20	0	0
6 300	分段布设	0.63	0.73	0.06	0	0
	连续布设	0.62	0.63	0.29	0	0
7 500	分段布设	0.5	0.67	0.09	0	0
	连续布设	0.42	0.61	0.30	0	0
8 300	分段布设	0.43	0.55	0.11	0	0
	连续布设	0.52	0.61	0.25	0.06	0
9 400	分段布设	0.53	0.63	0.14	0	0
	连续布设	0.42	0.41	0.53	0.08	0

表6 封闭外侧车道模式下不同工作区长度的道路服务水平

G/m	布设方式	服务水平灰类值	服务水平
2 000	分段布设	0.86	优
	连续布设	0.57	良
2 800	分段布设	0.84	优
	连续布设	0.64	良
4 000	分段布设	0.83	优
	连续布设	0.62	良
5 000	分段布设	0.83	优
	连续布设	0.89	良
6 300	分段布设	0.73	良
	连续布设	0.63	良
7 500	分段布设	0.61	良
	连续布设	0.67	良
8 300	分段布设	0.61	良
	连续布设	0.61	良
9 400	分段布设	0.63	良
	连续布设	0.53	一般

用分段布设方式,且 G 不应超过5 000 m;当要求道路服务水平为良且 G 取值小于9 400 m时,两种布设方

案均可以考虑;考虑到较长的工作区可以加快施工速度、节约建设费用等,建议采用连续布设方式;当 G 的取值大于 9 400 m 时,不建议采用连续布设工作区方案。

4.2 封闭半幅车道模式

当封闭半幅车道时,本侧车道车辆需要通过中间分隔带开口驶入对向车道通行,因此在进行评价时还需要同时考虑对对向车道车流影响,从而需要计算整条道路的服务水平。

4.2.1 仿真试验设计

封闭半幅车道施工工作区连续布设形式见图 3,分段布设形式见图 4。与封闭外侧单车道模式相比,缓冲区 H 取值为 200 m,但本侧行驶车辆需要全部通过中央分隔带开口驶入对向车道行驶,参考文献[6],中央分隔带开口宽度取值为 100 m,其他参数取值同 4.1.1 节。

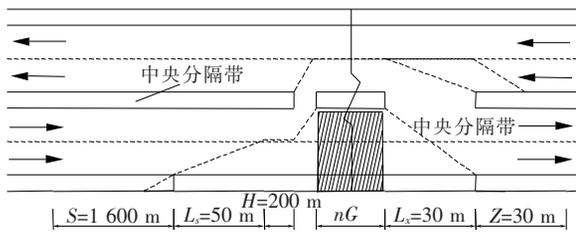


图 3 封闭半幅车道的作业区布置图

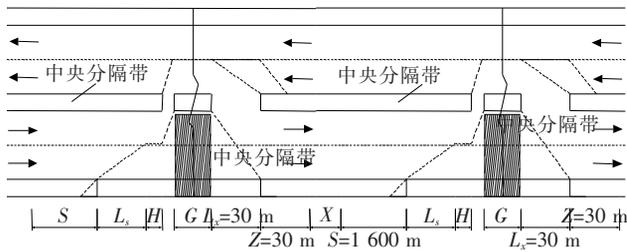


图 4 封闭半幅车道的施工区分段连续布设

4.2.2 仿真试验结果

利用 VISSIM 进行仿真,结果见表 7。

封闭半幅车道时不同工作区长度下两种布设方式的服务水平灰类值和服务水平见表 8。由表 8 可知:分段布设方式的道路服务水平均在良以上,且当 G 为 5 000 m 及以下时服务水平为优。 G 取值大于等于 9 400 m 时连续布设工作区方式的道路服务水平为一般,小于 9 400 m 时道路服务水平为良。随着 G 取值的增大,两种布设方式的道路服务水平均呈现下降趋势。因此,在封闭半幅道路施工作业,要求服务水平为良时且 G 的取值小于 9 400 m 时,两种工作区布设方

表 7 封闭半幅车道施工控制路段仿真数据

G/m	布设方式	交通密度/ [pcu · (km · ln) ⁻¹]	平均行程 时间/ (s · km ⁻¹)	平均行程 延误/[s · (veh · km) ⁻¹]
2 000	分段布设	10.71	58.40	8.41
	连续布设	16.86	71.04	9.71
2 800	分段布设	11.75	59.71	8.81
	连续布设	15.40	65.72	9.49
4 000	分段布设	14.02	64.35	8.93
	连续布设	17.54	67.77	9.70
5 000	分段布设	13.81	62.99	8.07
	连续布设	18.19	68.18	9.87
6 300	分段布设	14.11	63.95	6.62
	连续布设	17.43	68.75	6.98
7 500	分段布设	15.31	64.78	6.69
	连续布设	18.97	69.19	7.10
8 300	分段布设	15.97	65.13	6.51
	连续布设	19.26	69.92	6.69
9 400	分段布设	16.85	66.01	6.47
	连续布设	19.54	73.31	6.70

表 8 封闭半幅车道模式下不同工作区长度的道路服务水平

G/m	布设方式	服务水平灰类值	服务水平
2 000	分段布设	0.87	优
	连续布设	0.75	良
2 800	分段布设	0.87	优
	连续布设	0.64	良
4 000	分段布设	0.75	优
	连续布设	0.61	良
5 000	分段布设	0.75	优
	连续布设	0.54	良
6 300	分段布设	0.75	良
	连续布设	0.56	良
7 500	分段布设	0.75	良
	连续布设	0.62	良
8 300	分段布设	0.63	良
	连续布设	0.65	良
9 400	分段布设	0.63	良
	连续布设	0.74	一般

式均可使用;考虑连续布设方式有助于加快施工进度、节约成本,建议采用连续布设方式;当 G 取值大于等于9 400 m时,不建议采用连续布设工作区方式。

对比表6、8的计算结果可以发现:封闭外侧车道模式和封闭半幅车道模式下,道路服务水平相差不大,在交通组织方案设计中可以根据实际情况需要选取适合的封闭方式。在两种封闭方式下, G 为5 000 m时均能保持道路服务水平为优,且当采用更长的工作区时服务水平降为良,说明工程实际中采用5 000 m作为工作区长度较为合理。在服务水平要求不高时,工作区长度可以适当延长,以节省施工成本、缩短施工周期,但采用连续布设时不建议取值超过9 400 m。

5 结论

分析了影响高速公路改扩建期间不同工作区布设方式和道路封闭方式的道路服务水平的因素,选取了交通密度、平均行程时间和平均行程延误3个关键评价指标,并根据灰色聚类评价法对道路服务水平进行评价。通过VISSIM仿真软件对封闭外侧车道模式和封闭半幅车道模式进行仿真,得到8种不同长度的工作区在两种布设方式下的道路服务水平分级。对高速公路改扩建工程工作区长度及布设提出如下建议:

(1)工程实际中 G 取值为5 000 m,两种道路封闭方式的分段布设工作区的道路服务水平均为优,印证了其合理性。

(2)分段布设方式较好于连续布设方式。在要求较高的道路服务平时,应采用分段布设工作区。

(3)随着工作区长度的增加,道路服务水平均呈现下降趋势。为了保证高速公路改扩建服务水平,不建议布设长距离的工作区。

(4)工程实际应用中要求道路服务水平为良且 G 取值小于9 400 m时,两种方式均可考虑,建议采用连续布设方式以缩短建设周期、节约费用;当 G 取值大于等于9 400 m时,不建议采用连续布设方案。

(5)封闭外侧车道模式与封闭半幅车道模式道路服务水平相差不大,因此在实际工程应用中可根据需要选取两种封闭方式。

该文所研究的高速公路仅为双向四车道,道路封闭模式、交通量取值较为单一,针对双向六车道和多种交通量的设置还需要进一步研究探讨。

参考文献:

- [1] 孟祥海,郑来,毕海峰,等.高速公路半幅封闭施工区交通特性与交通冲突特性研究[J].中国公路学报,2013(2).
- [2] 高建平,朱贺贤,张续光.高速公路养护作业工作区车道保持行为安全性研究[J].中外公路,2018(5).
- [3] JTG H30—2015 公路养护安全作业规程[S].
- [4] 彭余华,王晓玉,吕纪娜,等.基于服务水平的高速公路养护作业工作区长度确定方法[J].中国公路学报,2016(5).
- [5] 张锦龙.高速公路特殊路段交通流仿真研究[D].兰州交通大学博士学位论文,2015.
- [6] 聂欣,王谷,粟海涛,等.云南省改扩建低等级公路运营安全性评价方法研究[J].科技资讯,2013(4).
- [7] 张丰焰,周伟,王元庆,等.高速公路改扩建工程交通组织设计探讨[J].公路,2006(1).
- [8] 马壮林,朱慧芳,张生瑞,等.高速公路施工区交通组织优化研究[J].中外公路,2012(4).
- [9] 李洁.高速公路养护维修作业区通行能力影响因素的微观仿真研究[J].现代交通技术,2017(6).
- [10] BEACHER A G, FONTAINE M D, GARBER N J. Part 2: Work Zone Traffic Control: Field Evaluation of Late Merge Traffic Control in Work Zones [J]. Journal of the Transportation Research Board, 2005, 1 911(1): 32—41.
- [11] ELGHAMRAWY T M. Optimizing Work Zone Practices for Highway Construction Projects [D]. Champaign: University of Illinois at Urbana—Champaign, 2011.
- [12] 彭余华,王晓玉,王玮,等.高速公路改扩建半幅封闭式交通组织方案参数设置方法[J].筑路机械与施工机械化,2016(6).
- [13] 王玉娜.改扩建高速公路现状评价及设计优化[D].郑州大学硕士学位论文,2014.
- [14] 张生瑞,代冬霞,霍东芳.基于动态综合评价方法的高速公路改扩建交通分流方案评价[J].中国科技论文在线,2010(10).
- [15] 刘长江.高速公路大修工程施工安全保畅方案研究[D].长安大学硕士学位论文,2009.
- [16] 朱博雅,符锌砂,王晓飞.基于模糊综合评判的高速公路改扩建工程作业区域交通安全评价[J].公路,2018(2).
- [17] 毕海峰.高速公路施工作业区交通控制与仿真研究[D].哈尔滨工业大学硕士学位论文,2011.
- [18] 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(4).
- [19] JTG B01—2014 公路工程技术标准[S].
- [20] 王华荣,裴玉龙,邢世玲.灰色聚类法在快速路基本路段服务水平评价中的应用[J].公路,2005(5).