

高速公路改扩建后区域路网交通分流模型

杨富社^{1,2}, 陈宽民¹, 王 迎¹

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 长安大学 理学院, 陕西 西安 710064)

摘 要:为量化分析高速公路改扩建分流后区域路网的拥挤程度和服务水平,充分考虑路网分流条件,以系统饱和度为约束条件,以区域路网内分流系统最优为目标,建立了具有实时反馈效用的高速公路改扩建交通分流机制和分配模型。以陕西潼关至宝鸡高速公路改扩建作业项目为例,应用新建模型对 2 种交通分流方案进行了对比。研究表明:该模型考虑分流路段的交通量分担能力,以分流后路段交通量和路段通行能力之比作为权重系数,来反映分流后区域路网的交通拥挤状况,能够实现区域路网内交通分流的系统最优,达到配流均衡。通过应用该方法对大型车分流和小汽车分流两套方案进行的对比分析,表明大型车辆分流方案的路段饱和度优于小汽车分流方案。

关键词:交通工程;系统最优;数学模型;交通分流;高速公路改扩建

中图分类号:U492.11

文献标志码:A

Traffic diversion model of regional network for freeway reconstruction

YANG Fu-she^{1,2}, CHEN Kuan-min¹, WANG Ying¹

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;

2. School of Science, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: In order to measure the congestion and level of service of regional road networks after traffic diversion for freeway reconstruction quantitatively, the corresponding of traffic diversion and traffic diversion model with real-time feedback is proposed with overall saturation level as the constrict and optimal diversion performance as optimization function. Taking the reconstruction project of Tongguan-Baoji freeway as an example, two diversion programs are compared. This proposed method considered the loading level of traffic volume of diversion segments using the ratio of diversified traffic volume and capacity as the weights so as to describe the congestion condition of diversified regional road network. The analysis result shows it can reach the optimal diversion performance through this method and yield diversion balance. Based on the comparison of two diversion plans (large sized vehicle and small sized vehicle), the result indicates that the sections of saturation in the car-traffic diversion plan is lower than that in the large vehicle-traffic diversion plan. 4 tabs, 1 fig, 8 refs.

Key words: traffic engineering; systemic optimization; mathematical model; traffic flow diversion; freeway reconstruction

0 引言

针对中国现阶段迅猛发展的经济社会现状及交通运输需求所呈现出的高速、重载特征,对现有服务能力不足的高速公路进行改扩建是有效地针对性应对措施之一。但在不间断日常交通的情况下,高速公路的改扩建作业会面临交通安全、通行效率低等难题,为减少交通流对施工的影响,改扩建期间往往按照一定的原则、层次将高速公路上的交通流分至周围路网上,即进行交通分流。目前,中国在高速公路改扩建作业期间交通分流方面已开展了一定的理论与方法研究,但一般针对交通分流方案依靠人为经验和概略性推断来开展设计工作,对分流后的路网拥挤程度、服务水平等缺乏量化判断,这也成为制约高速公路改扩建作业的重要难题^[1-4]。高速公路改扩建期的交通分流有别于传统交通规划的“四阶段”模型中的交通分配,交通分流有一定的特殊性:①在已有路网基础上进行,其技术等级、费用等道路阻抗函数参数可提前获得;②根据不同的施工方式及进度等要求,对分流路段进行时间和空间的有效划分和控制,交通流分布具有强制性、管控性及明显的时空性;③整个过程具有反馈性,以便于管理不同路段的分流结果,达到区域网络中分流最优;④充分考虑道路等级、道路承受能力等相关因素,尽量减少对道路的损坏^[5-6]。这就需要结合高速公路改扩建作业的实际情况,合理分析其交通分流的特点,提出高速公路改扩建作业的交通分流方法,并对分流路网中不同路段的拥挤程度进行判定,以保障区域路网饱和度最优分布。为此,本文针对高速公路改扩建的交通分流展开相应的研究。

1 理论分析模型的构建

高速公路改扩建的交通分流不同一般交通规划中的交通分配,为保证有效的交通组织,改扩建期间的交通分流具有极强的管制性,交通出行者选择路径的机会大大减少^[7]。为充分保证利用现有的路网,本文建立了在可分流区域路网内的饱和度模型。该模型考虑了分流路网的交通量分担能力,将分流后路段交通量和路段的通行能力之比作为权重系数,能比较客观地反映分流后路网的交通拥挤状况。

1.1 模型的建立

高速公路改扩建作业的交通分流模型为

$$\min \hat{Z}(x) = \sum_{a \in A} w_a (x_a / v_a) \quad (1)$$

以路段与路径流量之间的制约关系为约束条件,计算式为

$$\text{s. t. } x_a = \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} \sum_{k \in P} f_{rs}^k \delta_{rs}^{ak} \quad (2)$$

$$f_{rs}^k = Y_{rs}^k + Q_{rs}^k \quad (3)$$

$$\sum_{a \in A} x_a \leq \sum_{a \in A} v_a \quad (4)$$

$$f_{rs}^k \geq 0 \quad (5)$$

式中: $\hat{Z}(x)$ 为路网中所有路线的饱和度; A 为路网中可分流的所有路段的集合; R 为所有出发地的集合; S 为所有目的地的集合; P 为所有路径的集合; a 为一条路段, $a \in A$; r 为一个出发地, $r \in R$; s 为一个目的地, $s \in S$; k 为一条路径, $k \in P$; w_a 为路段 a 的权重系数; x_a 为路段 a 上分流后的交通量; v_a 为路段 a 改扩建后的基本通行能力,对改扩建的路段,代表施工期的基本通行能力; f_{rs}^k 为OD对 (r,s) 之间路径 k 上分流后的流量; Y_{rs}^k 为路径 k 原有的交通量; Q_{rs}^k 为路径 k 分流后的交通量; δ_{rs}^{ak} 为调节分数,若路段 a 在 (r,s) 之间的路径 k 上则为1,否则为0。

式(1)保证路网分流后饱和度最小,式(3)表示路网中任何路段分流后的交通量都不能大于设计通行能力。

1.2 权重系数的确定

在交通分流中,由于不同的道路等级有着不同的通行能力,所能承受的分流交通量受到限制^[3]。为此,本文提出了路段承受能力的概念,它是指路段 a 所有车道的基本通行能力之和,该值充分考虑了道路等级、车道数目等参数对不同路段的交通承受能力的影响。

以路段长度和路段通行能力相乘作为权重系数,以反映不同路段的分流承受能力,计算式为

$$w_a = \frac{v_a l_a}{\sum_{a \in A} v_a l_a} \quad (6)$$

式中: l_a 为路段 a 的长度。

2 应用实例

在实际的高速公路改扩建期间,区内交通量占了绝大部分,以陕西潼关至宝鸡高速公路改扩建为例,区域内交通占64%^[8]。因此,改扩建期间的交通组织是否成功,很大程度取决于区域内短途交通的分流结果。为方便说明分流模型的可行性,以某一区域内路网为例,进行区域内短途交通分流分析。

2.1 区域路网概况

假设在下页图1所示的路网内共有5条路段,

共分为 4 条分流路径,路段 A、路段 B 均为一级公路,路段 C 是与这 2 条一级路相连的一条二级公路,这样路段 A、B 为路径 3;路段 A、C 为路径 2。

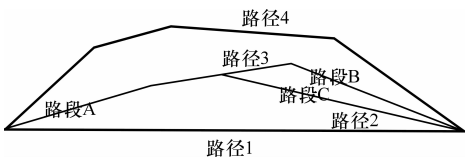


图 1 路网布局

在图 1 所示的路网中,各条路径的相关技术等级及参数见表 1。

为表示各个路段的分流承受能力,表 1 中路段基本通行能力表示该路段双向所有车道的通行能力之和,路径 1 的路段基本通行能力为改扩建期间的通行能力。由于现阶段中国对施工期间的通行能力研究较少,按照通行能力理论:在限速为 80 km/h 状况下,高速公路路段基本的通行能力为 1 700 pcu/h/ln;

表 1 各段公路相关参数

路径名称		长度/ km	技术 等级	断面 车道数	设计车速/ (km·h ⁻¹)	基本通行能力/ (pcu·(h·ln) ⁻¹)	路段基本通行能 力/(pcu·h ⁻¹)
路径 1		80	高速公路	双向四车道	80	1 700	6 800
路径 2	路段 A	60	一级公路	双向四车道	80	1 800	7 200
	路段 C	20	二级公路	双向两车道	80	1 500	3 000
路径 3		90	二级公路	双向两车道	60	1 400	2 800
路径 4		120	高速公路	双向四车道	120	2 200	8 800

表 1 中路段 A 为具有干线功能的一级公路,在设计速度为 80 km/h 的前提下,其基本通行能力为1 800 pcu/h/ln。

2.2 交通分流方案设计

高速公路改扩建一般分流主要有 2 种:①减少

大车对小车的影响,提高通行能力,将特大车和大型车辆分流至周围路网;②减轻特大型车辆和大型车辆对周围低等级公路的破坏,将小汽车分流。各个路段原来交通量与分流后交通量见表 2。

表 2 各路径交通量分流情况

项目	路径 1/ (pcu·d ⁻¹)	路径 2/(pcu·d ⁻¹)		路径 3/ (pcu·d ⁻¹)	路径 4/ (pcu·d ⁻¹)
		路段 A	路段 C		
原交通量	23 000	15 000	8 000	9 000	25 000
分流交通量方案一	—12 000	2 000	1 000	1 200	7 800
分流交通量方案二	—14 000	1 500	800	900	10 800
方案一分流后交通量	11 000	17 000	9 000	10 200	32 800
方案二分流后交通量	9 000	16 500	8 800	9 900	35 800

2.3 交通分流效果对比

第一步:计算权重系数。根据式(1)~式(5)所表达的规划模型,首先根据各个路段的公路技术等级求出各路径的权重系数,计算值见表 3。

表 3 不同路段权重系数

路段名称	路段 1	路段 2	路段 3	路段 4	路段 5
w_a	0.23	0.19	0.03	0.10	0.45

表 4 不同路段的饱和度

路段名称	路段 1	路段 2	路段 3	路段 4	路段 5	总计
方案一系统饱和度	0.375 427	0.435 154	0.076 792	0.391 638	1.679 181	2.958 191
方案二系统饱和度	0.496 888	0.997 227	0.225 256	1.384 721	6.831 213	9.935 305

3 结 语

(1)针对现有研究中对高速公路改扩建期间交通分流后路网拥挤程度、服务水平等指标缺乏量化分析的实际需要,建立了可分流区域内的路网饱和

第二步:计算不同方案条件下的路段饱和度和系统饱和度,各个路段饱和度与权重系数相乘后得出表 4 计算结果。

由以上结果可以看出,方案一分流结果中,所有的相关路段总体饱和度远小于方案二,分流后路网交通拥挤压力较小,优选方案一。

度优化模型,该模型考虑分流路段的交通量分担能力,以分流后路段交通量和路段通行能力之比作为权重系数,反映分流后区域路网的交通拥挤状况。

(2)以潼关至宝鸡高速公路改扩建作业为例,对大型车分流和小汽车分流两套方案进行了对比分

析,结果表明前者在区域路网饱和度方面优于后者,也验证了本文所提交通分流方法的有效性。

(3)对高速公路改扩建作业的交通分流路段一般需进行速度管制,不同的道路、交通、管理和外界环境都对通行能力产生较大的影响,为考虑施工作业区段的基本通行能力,本文所提出的交通分流模型仅以分流后交通量与基本通行能力的比值作为判定参数,并根据实际分流承受力赋予权重系数,指标过于单一,且权重系数的确定方法有待完善,可考虑将服务水平等指标纳入分流模型中。

参考文献:

References:

- [1] Lan L W, Sheu J B, Huang Y S. Investigation of temporal freeway traffic patterns in reconstructed state spaces[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2008, 16(1): 116-136.
- [2] Schroeder B J, Roupail N M. Estimating operational impacts of freeway work zones on extended facilities[J]. Transportation Research Record, 2010(2169): 70-80.
- [3] Chen Y L, Qin X, Noyce D A, et al. Interactive process of microsimulation and logistic regression for short-term work zone traffic diversion[J]. Journal of

Transportation Engineering, 2010, 136(3): 243-254.

- [4] Bhavsar P, Chowdhury M, Sadek A, et al. Decision support system for predicting traffic diversion impact across transportation networks using support vector regression[J]. Transportation Research Record, 2007(2024): 100-106.
- [5] Foo S, Abdulhai B, Hall F L. Impacts on traffic diversion rates of changed message on changeable message sign [J]. Transportation Research Record, 2008(2047): 11-18.
- [6] 胡明伟. 道路交通分流效益分析及仿真评价[J]. 深圳大学学报: 理工版, 2009, 26(2): 174-178.
HU Ming-wei. Benefit evaluation analysis and simulation of road traffic diversion[J]. Journal of Shenzhen University: Science and Engineering, 2009, 26(2): 174-178.
- [7] Abdel-Aty M, Gayah V. Using traffic micro-simulation to test route diversion as a real-time crash prevention strategy on freeways[J]. Advances in Transportation Studies, 2011, 23: 15-28.
- [8] Al-Deek H, Venkata S, Flick J, et al. Dynamic message sign development and diversion behavior of travelers on central Florida toll roads[J]. Transportation Research Record, 2009(2129): 24-34.
- LI Meng-xu. Analysis of highway's extension and settlement[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2008, 25(4): 58-60.
- [8] Huber H, Schwartz J L, Frey R P. Rehabilitation of the devil's bridge over Schollenen gorge[J]. Structural Engineering International, 2000, 10(1): 23-25.
- [9] Montero A C. Effect of maintaining traffic during widening of bridge decks: a case study[D]. Ohio: Ohio State University, 1980.
- [10] Kwan A K H, Ng P L. Reducing damage to concrete stitches in bridge decks[J]. Proceedings of the Institute of Civil Engineers: Bridge Engineering, 2006, 159(2): 53-62.
- [11] Hilsdorf H K, Lott J L. Revibration of retarded concrete for continuous bridge decks [R]. Washington DC: National Academy of Sciences, 1970.
- [12] Furr H L, Fouad F H. Effect of moving traffic on fresh concrete during bridge-deck widening[J]. Transportation Research Record, 1982(86): 28-36.
- [13] Ng P L, Kwan A K H. Effects of traffic vibration on curing concrete stitch part II: cracking, debonding and strength reduction[J]. Engineering Structures, 2007, 29(11): 2881-2892.

(上接第 62 页)

- ZHAO Xian-ru. Settlement prediction in whole process of high embankment broadening on soft soil foundation[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2009, 26(9): 40-42.
- [3] Issa M A. Investigation of cracking in concrete bridge decks at early ages[J]. Journal of Bridge Engineering, 1999, 4(2): 116-124.
- [4] Ansell A, Silfwerbrand J. The vibration resistance of young and early-age concrete[J]. Structural Concrete, 2003, 4(3): 125-134.
- [5] ACI Committee 345 2R-98, Guide for widening highway bridges[S].
- [6] 沈蒲生, 方 辉, 夏心红, 等. 考虑施工过程和收缩徐变的框架结构简化分析[J]. 建筑科学与工程学报, 2006, 23(2): 41-45.
SHEN Pu-sheng, FANG Hui, XIA Xin-hong, et al. Simplified analysis for frame structure considering construction process, shrinkage and creep[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2006, 23(2): 41-45.
- [7] 李孟绪. 公路扩建与沉降分析[J]. 筑路机械与施工机械化, 2008, 25(4): 58-60.