

文章编号:1671-8879(2008)05-0095-04

基于系统最优的高速公路改扩建交通分流模型

王 剑^{1,2}, 张生瑞¹, 李 华²

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 陕西省高速公路建设集团公司, 陕西 西安 710068)

摘 要:针对改扩建期间高速公路的特点,利用均衡系统最优原理,建立了以路网总行驶时间最小、以通道内的流量为约束的模型,给出了求解步骤,并以西安—宝鸡高速公路改扩建工程为例进行实例分析。研究结果表明:基于均衡系统最优的高速公路改扩建交通分流方法,能有效缓解改扩建路段的交通压力,并能最大程度地利用现有的道路资源,使高速公路扩建对区域社会经济影响降低到最低限度。

关键词:交通工程;交通分流;系统最优;交通运输通道

中图分类号:U491

文献标志码:A

Traffic divergence model of freeway during reconstruction based on system optimization

WANG Jian^{1,2}, ZHANG Sheng-rui¹, LI Hua²

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Shaanxi Province Group Corporation of Expressway Construction, Xi'an 710068, Shaanxi, China)

Abstract: Using the optimum theory of a balanced system with the characteristics of highway during the reconstruction period, the model with the minimum whole traveling time of a network is developed under the condition of channel flow. The expressway from Xi'an to Baoji is taken as an example to varity the model. The results showed that: the traffic diversion method can reduce the traffic pressure effectively, the existing road resources can be utilized to the greatest extent, the influence of reconstruction on society and economy can be minimized. 1 fig, 7 refs.

Key words: traffic engineering; traffic divergence; optimal system; transport channel

0 引 言

随着经济的快速发展,交通需求迅速增加,中国早期建设的高速公路(多为四车道),现已不能满足需要,急需提高通行能力。公路改扩建工程具有占地少、污染小和投资省等优点,现已成为高速公路扩容的理想选择。高速公路改扩建期间,道路通行能力受施工干扰而下降,需将原有交通量进行合理组

织分流,以保证改扩建期间高速公路具有一定的服务水平。近年来,已有不少学者对高速公路改扩建交通组织分流技术进行了研究,例如:宋学文等人分析了高速公路扩建期交通刚性分流的原则、步骤、措施及注意事项,论述了改扩建期间柔性分流的方法及其关键问题,提出了刚性分流和柔性分流相结合的交通分流方法^[1];张丰焰等人对高速公路改扩建工程交通组织的基础条件进行了分析,并探讨了改

收稿日期:2007-11-15

基金项目:陕西省交通科技项目(07-18k)

作者简介:王 剑(1965-),男,陕西西安人,陕西省高速公路建设集团公司高级工程师,长安大学工学博士研究生,E-mail:solarzyf@163.com。

扩建工程交通组织设计原则和设计方法^[2];贺寒辉等人运用交通仿真技术,进行分流方案设计和评价,从行程时间、燃油消耗和沿线速度等方面对高速公路交通分流方案设计进行了交通仿真应用研究,并进行了实例分析^[3]。但到目前为止,对于高速公路改扩建领域的交通组织与分流技术,还没有一套科学合理的理论体系。为此,本文在以往研究的基础上,拟通过分析交通分流机理和方法,以运输通道为切入点,以系统最优为目标,提出高速公路改扩建工程的交通分流模型,为高速公路的改扩建交通分流方案的设计提供参考。

1 交通运输通道及通道路网交通分析

1.1 交通运输通道

交通运输通道中公路网是国家交通主管部门在交通运输通道研究的基础上,经过多年的规划研究与建设布局工作,形成的各种单项运输方式中以公路交通主干线为依托,其他等级公路为补充的交通网络结构。交通运输通道是联接各主要城市、经济中心及大宗矿产产生地的纽带,其主要功能在于消解经济集聚区的交通生成量和吸引力。

1.2 运输通道公路网交通分析

在通道交通中,交通行为将从无序向有序逐渐转变,并随路况条件的更新和交通量的变化进行着相应的自发性调整。随着社会经济的发展和交通需求的增加,交通运输通道也随之发展和完善。在任何交通运输网体系中,运输通道的发展均包括数量增加与质量提高两个方面。当运输线路数量增加到一定程度(受土地、地形或其他条件限制)时,将形成一定的运输系统格局,即是保持相对稳定的路网结构;另一方面,交通运输网络质量提高的过程则是无限进行的。多数发达国家或交通发达地区运输网主要格局形成以后,运输通道和干线数量已不再增加,其发展主要在于质量提高,表现在不断地采用新技术改造交通设施和条件,提高道路服务水平,使运输更快捷、更方便^[4]。

2 交通分流方法

2.1 交通分流机理

对高速公路进行改扩建,实质是对运输通道路网交通质量提高的过程,无论采用何种改扩建方式(两侧或单侧加宽),必然会对现有正常有序的交通状态产生阻抗,导致交通主干线交通拥挤,进而影响或改变出行者路径选择或出行时间。对于出行者来

说,总是要选择时间最短、费用较低的出行线路;对于现代快节奏的交通方式来讲,必须将拥堵的交通流进行合理的分流。从宏观方面来讲,可将改扩建的交通运输通道作为区域性的道路网结构来看待,使其更接近交通分流模型基础条件。在此基础上,将 OD 矩阵中的交通需求按照一定的择路原则分配到交通网络上。从微观方面来讲,对交通流的分流就是高速公路使用者根据道路条件、时间和成本等方面选择路线的过程。

2.2 用户均衡系统最优模型

用户均衡分配有两条原则:一是假定所有出行者独立地决策自己的行驶路线,在所形成的路网交通流分布状态里,每个出行者所使用的路径行驶时间相等,并且是最短的;二是假定所有人的出行能够使路网总的行驶时间最小。第一个原则只在乎个体时间最小,属于个体最优原则;第二个原则是注重整体,体现了道路管理者协调、管制和分流交通的行政行为,能够使交通流状态有序合理,属于系统最优原则^[5-7]。

从运输通道的路网分布特性、交通流模型条件及选择路径的总体原则上讲,第二个原则更符合改扩建实施过程中交通管理者降低总体费用、确保畅通的指导思想,其数学规划模型为

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

$$\text{约束条件} \quad \sum_{r \in P_n} f_n^k = q_n \quad r \in R, s \in S \quad (2)$$

$$f_n^k \geq 0 \quad r \in R, s \in S, k \in P_n \quad (3)$$

其中,路段与路径流量之间的关系为

$$x_a = \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} \sum_{k \in P_n} f_n^k \delta_{a,n}^k \quad a \in A \quad (4)$$

式中: $\hat{Z}(x)$ 为总的行驶时间; A 为所有路段的集合; 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 为其中一个出发地, $r \in R$; s 为其中一个目的地, $s \in S$; k 为一条路径, $k \in P$; P_n 为 r 与 s 之间所有路径的集合, $P_n \in P$; q_n 为单位时间段内从 r 到 s 的交通需求量; x_a 为路段 a 上的交通量; t_a 为行驶路段 a 所需的平均时间; f_n^k 为 OD(起讫点)对 (r, s) 之间的路径 k 上的流量;若路段 a 在 (r, s) 之间的路径 k 上, $\delta_{a,n}^k$ 为 1, 否则为 0。

2.3 迭代求解

式(1)是一个典型的线性规划问题,其可行域是由线性等式与非负项约束条件构成的。可证明其增广系数矩阵是正定的,目标函数相对于 X 是严格

凸的,路段流量解是唯一的,其一阶最优条件为

$$f_n^k(c_n^k - a_n) = 0 \quad r \in R, s \in S, k \in P$$

$$c_n^k - a_n \geq 0 \quad r \in R, s \in S, k \in P$$

$$\sum_{k \in P_n} f_n^k - q_n = 0 \quad r \in R, s \in S$$

$$f_n^k \geq 0 \quad r \in R, s \in S, k \in P_n$$

式中: a_n 是引入的一个路径时间常数,当 $f_n^k > 0$ 时,路径时间等于常数 a_n ,当 $f_n^k = 0$ 时,则路径时间大于常数 a_n ; $c_n^k = \sum_{a \in A} \hat{t}_a(x_a) \delta_n^k$,为OD对 (r, s) 之间路

径 k 的时间; $\hat{t}_a(x_a) = t_a(x_a) + x_a \frac{dt_a(x_a)}{dx_a}$ 。

时间 $\hat{t}_a(x_a)$ 由两部分构成, $t_a(x_a)$ 是个体感觉时间,而 $x_a \frac{dt_a(x_a)}{dx_a}$ 是单位新增出行者对路段 a 上已存在的出行者产生的拥挤时间。

当路段时间设定为 $t_a^* = t_a(x_a^*)$ 时,令网络总时间最小。只要将 $t_a(x_a)$ 换为 $\hat{t}_a(x_a)$,则求解步骤如下(其中, x_a^n 为第 n 次迭代时路段 a 上的流量)。

第1步:初始化,令路段时间为 $t_a = t_a(0)$, $a \in A$,在此基础上执行全有全无分配,产生路段流量 X^1 ,迭代次数记为 $n = 1$;

第2步:更新路段时间, $t_a^n = t_a(x_a^n)$ $a \in A$;

第3步:寻找下降方向,在 t_a^n 的基础上寻找最短路径再进行分配,产生增广路段流量 y_a^n ;

第4步:确定最优的迭代步长 α^n ,求解下列的优化问题

$$\min \sum_0^{x_a^n + \alpha(y_a^n - x_a^n)} t_a(w) dw \quad 0 \leq \alpha \leq 1;$$

第5步:更新路段流量, $x_a^{n+1} = x_a^n + \alpha^n(y_a^n - x_a^n)$;

第6步:如果达到收敛标准则停止迭代,解就是 x_a^{n+1} ,否则,令 $n = n + 1$,转第2步继续。

$$\text{可预设精度参数 } \epsilon, \text{ 若 } \frac{\sqrt{\sum (x_a^{n+1} - x_a^n)^2}}{\sum x_a^n} \leq \epsilon,$$

则在此情况下,就可停止迭代。

对于以高速公路为主干线的通道交通网络来说,实际交通流并不是处处都非常拥挤,同时预设精度要求也不是太高,因而少数几次迭代就可以得到用户均衡解。

3 实证分析

西安—宝鸡高速公路(西宝高速)为国道主干线连霍线在陕西境内的重要路段,是国家高速公路网及陕西省高速公路网中穿越关中平原的一条公路运

输大通道。随着经济的快速发展,原西宝高速已经不能满足现代交通的需要,故由原来的四车道改扩建为八车道。由于道路改扩建封闭部分车道,故考虑周围路网的道路条件和交通条件以及交通增长情况,对这部分交通量进行分流。

(1)西宝南线:西宝南线是国道310自西安向西的延伸,该公路位于渭河以南,与西宝高速公路隔河相望,路线全长181 km。

(2)西宝北线:由西安至凤翔段(S104)和凤翔至虢镇段(S210)公路组成,全长202 km,该公路是西安与宝鸡之间4条主要公路中距离最长的线路,主要承担沿线区域的中短途交通。

(3)西宝中线:紧邻西宝高速,为县乡三级公路,主要服务于沿线城镇,全长约108 km,是咸阳通往宝鸡最便捷的通道。

通道示意图如图1所示。图中,①、②、③、④分别表示西宝北线、西宝中线、西宝高速、西宝南线;①、②、③分别表示西安、咸阳、宝鸡。

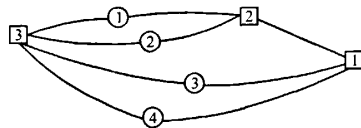


图1 通道示意

2007年9月,对西宝高速进行了交通量调查,并以此为基础,采用增长系数法预测改扩建期间的日交通量为39 985 pcu/d(折算成标准小客车)。

采用本文前述的迭代算法,计算得到分配结果:西宝高速19 993 pcu/d;西宝南线8 157 pcu/d;西宝北线6 118 pcu/d;西宝中线4 486 pcu/d。经验证,通道内各条道路均满足通行能力的要求,并且服务水平在三级以上,有效缓解了改扩建路段的交通压力,并能最大程度地利用现有的道路资源,使高速公路改扩建对区域社会经济影响降低到最低限度。

4 结 语

(1)介绍了交通运输通道的概念,对交通运输通道及通道路网交通进行了分析;建立了高速公路改扩建交通分流技术的用户均衡系统模型,给出了迭代求解过程。

(2)以西宝高速公路改扩建工程交通分流实例对模型进行验证,结果表明:通道内道路均满足通行能力的要求,且服务水平在三级以上,避免了道路资源浪费,保证了道路的正常安全运营。

(3)高速公路改扩建期的交通分流最终目标是

为区域社会经济的发展服务,只有充分考虑其交通运输通道内路网交通条件以及交通增长等因素,才能制定出科学合理的交通分流组织方案,使高速公路改扩建对区域社会经济影响降低到最低限度。

参考文献:

References:

- [1] 宋学文,张培林,刘铁鑫.高速公路扩建期交通分流方法研究[J].公路与汽运,2008(3):45-47.
SONG Xue-wen, ZHANG Pei-lin, LIU Tie-xin. Research on the technology of traffic diversion for expansion engineering of expressways [J]. Highways & Automotive Applications, 2008(3):45-47.
- [2] 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):109-113.
ZHANG Feng-yan, ZHOU Wei, WANG Yuan-qing, et al. Discussion about traffic for reconstruction and expansion engineering of expressways [J]. Highway, 2006(1):109-113.
- [3] 贺寒辉,李嘉,朱坚和,等.计算机仿真在交通分流中的应用研究[J].中南公路工程,2007,32(2):99-102.
HE Han-hui, LI Jia, ZHU Jian-he, et al. An application study of computer simulation in traffic diversion plans [J]. Central South Highway Engineering, 2007, 32(2):99-102.
- [4] 刘灿齐.现代交通规划学[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [5] 赵莉,李峰.动态交通分配模型[J].长春理工大学学报:自然科学版,2007,30(3):121-125.
ZHAO Li, LI Feng. Dynamic traffic assignment model [J]. Journal of Changchun University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2007, 30(3):121-125.
- [6] 黄静兰.区域运输通道资源的综合利用研究[J].综合运输,2007(9):34-36.
HUANG Jing-lan. Comprehensive utilization of regional transport corridor [J]. Comprehensive Transportation, 2007(9):34-36.
- [7] 颜佑启,欧阳建湘.最短路—最大流交通分配法[J].中国公路学报,2005,18(4):91-95.
YAN You-qi, OUYANG Jian-xiang. Traffic volume assignment method with maximum flow of minimum distance [J]. China Journal of Highway and Transport, 2005, 18(4):91-95.
- [8] 朱忠隆,张庆贺.盾构法施工对地层扰动的试验研究[J].岩土力学,2000,21(1):49-52.
- [9] 张庆贺,朱忠隆,杨俊龙,等.盾构推进引起土体扰动理论分析及试验研究[J].岩石力学与工程学报,1999,18(6):699-703.
- [10] 沈培良,张海波,殷宗泽.上海地区地铁隧道盾构施工地面沉降分析[J].河海大学学报:自然科学版,2003,31(5):556-559.
- [11] 丁文其,杨林德,朱合华.盾构隧道施工中材料性态的模拟[J].同济大学学报,1999,27(4):468-473.
- [12] DING Wen-qi, YANG Lin-de, ZHU He-hua. Simulation of the material behavior in shield tunnel construction [J]. Journal of Tongji University, 1999, 27(4):468-473.

(上接第94页)

- [5] 吴波,高波,索晓明,等.城市地铁小间距隧道施工性态的力学模拟与分析[J].中国公路学报,2005,18(3):84-89.
WU Bo, GAO Bo, SUO Xiao-ming, et al. Mechanical simulation and analysis of construction behavior of urban metro tunneling with small interval [J]. China Journal of Highway and Transport, 2005, 18(3):84-89.
- [6] 胡庆安,夏永旭,王文正.双连拱隧道施工过程的三维数值模拟[J].长安大学学报:自然科学版,2005,25(1):48-50.
HU Qing-an, XIA Yong-xu, WANG Wen-zheng. 3D numerical simulation on double-arch tunnel's construction process [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005, 25(1):48-50.
- [7] 蒋红斐,涂鹏,李国忠.复线铁路线路三维模型建立方法[J].交通运输工程学报,2004,4(1):21-24.
JIANG Hong-fei, TU Peng, LI Guo-zhong. Building method of double tracks railway 3D model [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004, 4(1):21-24.
- [8] 朱忠隆,张庆贺.盾构法施工对地层扰动的试验研究[J].岩土力学,2000,21(1):49-52.