

文章编号:1671-1637(2012)05-0079-06

公路网改扩建决策优化双层规划模型

桂 滨¹, 周 伟¹, 王健华¹, 周 丽¹, 王夏森²

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 同济大学 交通运输工程学院, 上海 201804)

摘 要:针对公路网改扩建问题,在决策优化过程中,考虑了技术、资金、环境保护以及运营效率等因素。以路网系统的最小交通量为上层模型目标函数,以最小走行时间为下层模型目标函数,以路段服务水平、土地占用状况、建设投资等为约束条件,构建了公路网改扩建决策优化双层规划模型。采用遗传算法求解模型,并通过济青北线的实例数据进行实证分析。计算结果表明:济青北线济南—淄博段、淄博—青州段、青州—潍坊段的扩建优化指数分别为2.15、4.09、3.54,新建优化指数分别为1.87、3.09、2.73,相同路段的扩建优化指数均高于新建优化指数,与实际相符。可见,模型有效。

关键词:公路网;改扩建;决策优化;双层规划模型;多目标问题;遗传算法

中图分类号:U491.13

文献标志码:A

Bi-level programming model of decision optimization of reconstruction and expansion for highway network

GUI Bin¹, ZHOU Wei¹, WANG Jian-hua¹, ZHOU Li¹, WANG Xia-sen²

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

2. School of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Aiming at the reconstruction and expansion problems of highway network, the factors such as technique, fund, environmental protection and operation efficiency were considered during the decision optimization process. The minimum traffic volume of highway network system was taken as the objective function of upper-level model, the minimum trip time was taken as the objective function of lower-level model, the service level of road section, land occupancy status and construction investment were taken as constraint conditions, and a bi-level programming model of decision optimization of reconstruction and expansion for highway network was set up. Genetic algorithm was used to solve the model, and empirical analysis was carried out by using the example data of Northern Jiqing Highway. Calculation result shows that the expansion optimization indexes of Jinan-Zibo section, Zibo-Qingzhou section and Qingzhou-Weifang section for Northern Jiqing Highway are 2.15, 4.09 and 3.54 respectively, while the newly-built optimization indexes of the road sections are 1.87, 3.09 and 2.73 respectively. The expansion optimization index is higher than the newly-built optimization index for each road section, which is close to actual experience, so the model is effective. 7 tabs, 2 figs, 12 refs.

Key words: highway network; reconstruction and expansion; decision optimization; bi-level programming model; multi-objective problem; genetic algorithm

收稿日期:2012-05-26

基金项目:高等学校博士学科点专项科研基金项目(200807100001);教育部人文社会科学基金项目(11YJA630155)

作者简介:桂 滨(1974-),男,山东掖县人,交通运输部高级工程师,长安大学工学博士研究生,从事高速公路经济分析研究。

导师简介:周 伟(1959-),男,陕西商洛人,长安大学教授,工学博士。

Author resumes: GUI Bin(1974-), male, senior engineer, doctoral student, +86-29-82334898, guibinmot@sina.com; ZHOU Wei(1959-), male, professor, PhD, +86-29-82334434, zhw59@hotmail.com.

0 引 言

随着中国国民经济的快速发展,客货流动日益频繁,对公路网的需求日益增长,在客货流密集路段,现有的公路网已无法满足需求,可能造成交通拥堵。目前,国内对于路段畅通性的解决思路,一是通过交通管制、拥挤收费等行政调控手段;二是通过路段的改扩建,提高交通容量。在关于路段畅通性的相关基础理论研究方面,李淑庆等运用主成分分析法对高速公路路段运行状况(包括交通畅达性和负载强度)进行评价,分析了高速公路的综合服务水平^[1];熊烈强运用流体力学原理对高速公路交通流特性和规律进行了分析研究^[2];杨小宝等对交通网络承载力进行了探讨,较为细致地分析了高速公路通行能力与车道数的理论关系^[3]。此外,诸多学者对路网规划、高速公路交通流等方面进行了较为深入的研究,吴群琪等对现有公路网规划理论、方法体系作了评述,并指出现代科学技术的应用、定量规划方法和多学科融合是公路网规划未来的发展方向^[4];罗霞等提出高速公路网规划的布局、总量、规模和序列 4 大关键问题^[5];蔡翠将交通区位理论引入到长远期交通基础设施规划中,指出路网战略及规划应以交通区位分析为基础,并提出用交通区位理论指导农村公路网规划的新思路^[6]。

公路网改扩建是公路网可持续发展的重要工作环节与组成内容,其核心内容是在特定的约束条件下,对公路网的改扩建方案进行优化。在公路网改扩建方案的优化过程中,约束条件的设定、规划目标的确定是核心问题。对于不同的约束条件、规划目标,公路网改扩建优化方案会有所不同,因此,对公路网改扩建优化的研究主要集中在目标设定、约束条件的探讨上。在实践中,目前大多数优化方案仅以路网总出行时间最少或者公路网总负荷最小为目标函数,以资金、建设成本等为约束条件,而忽略了公路网优化具有的多元化目标。实际上,在现有宏观背景下,公路网改扩建优化模型既要考虑公路网的可达性、机动性等技术性问题,同时需要考虑社会、经济、土地占用、环境等多重属性^[7-10]。现有的研究由于缺乏对规划目标多元性的探讨,而使得优化方案有所偏颇。本

文试图通过对公路网改扩建优化多元化目标的探讨,构建更加体现多元化需求的公路网改扩建优化模型,以更接近实际情况。

1 公路网改扩建决策优化双层规划模型

1.1 上层模型

1.1.1 上层模型目标函数

上层模型的优化目标函数为整个路网系统的交通量最小。区域内的公路网规划建设以满足国民经济发展产生的运输需求为目的,进而推动社会经济进步,因此,进行区域公路网改扩建优化过程中,应该在满足运输需求的基础上,兼顾建设投资和路网效率,既路网建设的低投入与路网运行的高效率。考虑路网建设费用的约束下,路网效率通过通行时间最短和路网连通度最大来体现^[11-12]。

1.1.2 约束条件

(1) 路段服务水平

交通量在路段上分配,相应的每个路段应满足一定的服务水平,即路段交通量与路段通行能力之比应在一定范围内。交通量过大会造成路段拥堵,交通量过小会造成资源浪费,这显然不是最优的方案,因此,路网优化过程中要充分考虑路段合理的服务水平。高速公路能适应的年平均日交通量见表 1。

表 1 高速公路年平均日交通量

Tab. 1 Annual average daily traffic volumes of highway

设计速度/ (km · h ⁻¹)	交通量/(10 ³ pcu · d ⁻¹)		
	四车道	六车道	八车道
120	40~55	55~80	80~100
100	35~50	50~70	70~90
80	25~45	55~60	60~80

一级公路能适应的年平均日交通量见表 2。

表 2 一级公路年平均日交通量

Tab. 2 Annual average daily traffic volumes of first-class highway

设计速度/ (km · h ⁻¹)	交通量/(10 ³ pcu · d ⁻¹)	
	四车道	六车道
100	27~30	30~55
80	20~27	27~45
60	15~25	25~35

其他公路(二、三、四级公路)能适应的年平均日交通量见表 3。

表3 其他公路年平均日交通量

Tab. 3 Annual average daily traffic volumes of other highways

公路等级	速度/ (km · h ⁻¹)	年平均日交通量/ (10 ³ pcu · d ⁻¹)
二级	40~80	5~15
三级	30~40	2~6
四级	20	<2

根据《公路工程技术标准》(JTGB01—2003),预测年的年平均日交通量为

$$A_1 = \frac{C}{KD}$$

式中: A_1 为预测年的年平均日交通量; C 为设计通行能力; K 为设计小时交通量系数,一般根据公路所在位置、地区经济、气候特点等确定,也可根据当地交通量观测资料确定; D 为方向分布系数,根据公路所在位置和功能确定,也可根据当地的交通量观测资料作适当调整。

(2) 土地占用状况

根据国家相关部门1999年公布的公路建设项目用地指标,高速公路(四车道)每公里平均占地为8 km²,一、二、三、四级公路每公里平均占地分别为7.0、3.2、2.6、2.3 km²。当前中国土地资源紧缺,修建公路占用大量耕地资源已经成为重要的问题。在路网布局上,有必要对项目占用土地进行定量和定性分析,比如一些特殊的控制空间,如文物保护单位、自然保护区、军事区域等,这样的线路可以认为其土地利用成本无穷大,优化的方案是绕过这些区域。

(3) 建设投资费用

公路的投资建设费用应该包含后期养护费用,才能合理反映公路网的实际投资额。建设费用是按照公路等级和里程来核算的,一些技术标准中都有相应的固定造价。养护费用的影响因素有很多,诸如交通量与超限运输、地理地质环境的影响、公路前期建设的投入等。

公路网改扩建的上层优化模型为

$$\begin{aligned} \min Z_1 &= \sum_{a \in A} v_a t_a \\ \max J &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i \\ \text{s. t. } &\sum_{a \in A, l \in \varphi} (c_{al} X_{al} + g_{al} Y_{al}) \leq B \\ &\sum_{a \in A, l \in \varphi} (L_{al} X_{al} + L_0) \leq L_1 \\ &L_{l1} \leq \sum_{a \in A} L_{al} \leq L_{l2} \end{aligned}$$

式中: Z_1 为上层优化模型目标函数; v_a 为路段 a ($a \in A$)上的交通量; t_a 为路段 a 上的出行时间; X_{al} 、 Y_{al} 均为0-1决策变量,当新建路段 a 为 l ($l \in \varphi$)等级时 X_{al} 为1,否则为0,当改扩建路段 a 为 l 等级时 Y_{al} 为1,否则为0; J 为节点平均邻接的边数; m_i 为第 i 个节点所邻接的边数; n 为规划区域应该连通的节点数量; c_{al} 为新建路段 a 为 l 等级时的单车道造价; g_{al} 为改扩建路段 a 为 l 等级时的单车道造价; B 为建设资金,包括土地占用成本、建设成本和维护费用; L_{al} 为等级为 l 的路段 a 的里程; L_0 为规划前(即原有)公路网总里程; L_1 为公路网规划总里程; L_{l1} 为路网中 l 级公路里程下限值; L_{l2} 为路网中 l 级公路里程上限值。

1.2 下层模型

下层模型的优化目标函数为走行时间最小,即选择最短路线,主要用来解决公路网当中的交通流平衡分配问题。一般而言,对于一个固定的区域,用户可选的路线相对较少,尤其是在高等级路段中,除非有特殊情况发生,一般道路拥挤也较少发生,用户在出行道路的选择中,对道路阻抗的评判会比较一致,因此,本文选用确定性用户平衡配流模型。

在确定性用户平衡配流模型中,假设用户选择距离最短或成本最低的路径,即要求驾驶人对整个网络的交通状况有完全正确的了解,但这个假设条件过于苛刻,不符合实际情况。在实际出行过程中,由于出行者不可能完全了解路网交通状况,所以其阻抗的选择更应该是一个随机过程。采用随机模型来描述驾驶人的路径选择过程,能够更加真实反映驾驶人的出行行为,配流结果也符合实际情况。

下层优化模型为

$$\min Z_2 = - \sum_i \sum_j q_{ij} E + \sum_{a \in A} f_a c_a - \sum_{a \in A} \int_0^{f_a} c_a dx$$

式中: Z_2 为下层优化模型目标函数; q_{ij} 为 i 区与 j 区之间的OD出行量; E 为路径期望阻抗; f_a 为路段 a 上的流量; c_a 为路段 a 上的费用(阻抗); x 为单位路径上的流量。

2 模型求解算法

2.1 目标函数的转化

在求解多目标问题时,往往会因为各目标间的冲突而无法求得最优解,所以对多目标函数的求解往往是次优解或者有效解,这种有效解是通过将多

目标问题转化为单目标问题而求解得到。将多目标问题转化为单目标问题求解,一般可采用线性加强法、乘法、功效系数法、理想点法等,每种方法有各自的适应对象,应根据实际情况选择。

2.2 算法流程

通过对公路网改扩建优化模型目标函数的转化,使其成为一个离散型组合优化模型,该模型是一个 NP-完全或 NP-难的组合优化问题,比较常用的用于解决这类问题的方法是全局优化启发式算法。

全局优化启发式算法通常称为启发式算法,是相对于最优算法提出的,是一种基于直观或经验构造的算法,在可以接受的费用下给出待解决组合优化问题实例的一个可行解。由于组合优化问题求最优解算法在计算时间、占用空间或问题困难程度上给研究带来极大的困难,通常采用启发式算法来求得问题的一个可行解。常用的全局优化启发式算法有模拟退火、遗传算法、神经网络算法、禁忌搜索技术以及蚁群优化算法等。利用遗传算法混沌优化搜索的效率,并在一定范围内能够遍历求解,因此,本文采用遗传算法来求解公路网路线布局优化模型,算法流程见图 1。

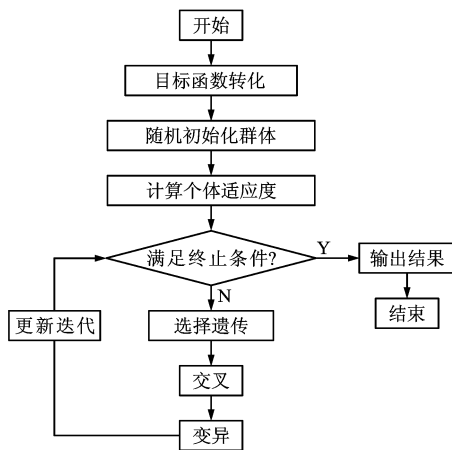


图 1 算法流程
Fig. 1 Algorithm flow

3 计算结果分析

运用前文所述公路网改扩建优化方法对山东省济青北线进行优化实证分析。济青北线所经的路段有济南—淄博、淄博—青州、青州—潍坊、潍坊—青岛,双向四车道,全程长度为 336.2 km。从目前通行情况看,上述各路段饱和度分别为 0.84、0.75、0.75、0.39,对应的服务水平分别为三级、三级、三级、二级。从以上分析可以看出,当前通行能力基本能够满足现有运输活动需要,但与该条线路设计

所要求达到的二级服务水平有很大差距,整体服务水平较低,畅通状态较差。从远景年(2020 年)预测交通量情况看,按照目前该线路的通行能力,远景年各路段饱和度分别为 1.63、1.62、1.62、0.45,对应的服务水平分别为四级、四级、四级、二级,由此可以看出现有路段状况不能适应未来运输需求,会出现明显的交通拥堵情况,对区域经济社会发展产生制约。综上所述,济青北线除潍坊—青岛段外都需扩大通行能力,以缓解济青北线日益增大的交通压力。

3.1 拥堵原因分析

济青北线(济南—潍坊段)不但是连通济南、淄博、潍坊等城市节点的主干道,也是连接山东东西部各大节点的必经之路,是贯穿东西部的大通道。从山东省的运输分布特征来看,从聊城、德州、济南、菏泽、滨州、泰安、莱芜至烟台、威海、潍坊、青岛的运输流基本都途经济青北线(济南—潍坊段),致使目前该路段交通量很大,饱和度较高,而现有该路段通行能力不能满足未来交通量的需求,可能发生严重拥堵情况,成为交通瓶颈。

途经济青北线的各城市节点之间远景年交通量数据见表 4,各节点之间的交通量分布见图 2。表 4

表 4 城市节点之间交通量
Tab. 4 Traffic volumes among city nodes pcu · d⁻¹

线路走向	自西向东	自东向西	总计
济南—淄博—青州—潍坊—青岛	5 974	5 969	11 943
济南—淄博—青州—潍坊—烟台	11 529	6 689	18 218
济南—淄博—青州—潍坊	5 376	7 835	13 210
济南—淄博—青州—潍坊—威海	8 322	6 633	14 955
德州—济南—淄博—青州—潍坊—青岛	5 509	8 154	13 662
德州—济南—淄博—青州—潍坊—烟台	9 180	6 317	15 498
德州—济南—淄博—青州—潍坊	2 604	4 428	7 032
德州—济南—淄博—青州—潍坊—威海	5 753	6 132	11 885
聊城—济南—淄博—青州—潍坊—青岛	5 717	6 525	12 242
聊城—济南—淄博—青州—潍坊—烟台	9 498	4 948	14 446
聊城—济南—淄博—青州—潍坊	2 883	4 947	7 830
聊城—济南—淄博—青州—威海	7 254	5 216	12 470
菏泽—济南—淄博—青州—潍坊—青岛	6 482	5 062	11 544
菏泽—济南—淄博—青州—潍坊—烟台	12 771	3 440	16 212
菏泽—济南—淄博—青州—潍坊	2 731	3 162	5 893
菏泽—济南—淄博—青州—潍坊—威海	9 033	2 657	11 690
滨州—淄博—青州—潍坊—青岛	5 913	6 790	12 702
泰安—淄博—青州—潍坊	2 202	3 686	5 888
莱芜—淄博—青州—潍坊	1 791	3 525	5 316
菏泽—济南—淄博	3 466	1 468	4 934
聊城—济南—淄博	4 315	2 501	6 817
德州—济南—淄博	3 595	2 615	6 210
济南—淄博	4 849	3 132	7 981

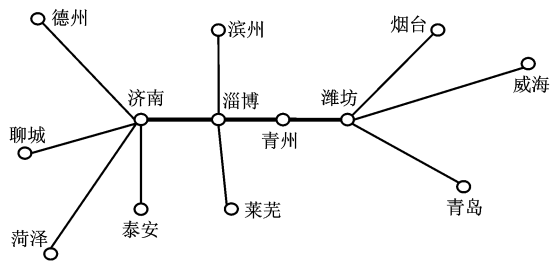


图 2 交通量分布
Fig. 2 Distributions of traffic volumes

中自西向东方向是指自济南、菏泽、德州等山东西部城市向潍坊、烟台、青岛等山东东部城市的交通流向,自东向西则相反。

3.2 优化方案

通过比较分析济青北线远景年各路段交通量和现有通行能力,可以看出现有通行能力不能满足未来运输需求,需要对各路段进行优化。结合山东省公路网的布局以及山东省的经济发展情况,提出具体优化方案。对照表 4 除潍坊—青岛段现有通行能力可以满足远景年运输需求,济南—淄博、淄博—青州、青州—潍坊段的现有通行能力都不能满足远景

年运输需求。方案 1 建议对济青北线济南—潍坊路段扩建,扩建为双向八车道,方案 2 建议新建从济南沿途经过淄博、青州到潍坊的双向四车道高速公路。

3.3 结果对比分析

采用本文双层规划模型与算法,对济青北线(济南—潍坊段)扩建和新建引流线两种优化方案进行比选。根据调查估计测算,济青北线新建高速公路建设成本为 4 200 万元·km⁻¹,扩建成本约为建设成本的 70%~80%;项目占地成本为 14 850 万元·km⁻²,新建四车道高速公路占地面积系数约为 0.07 km²·km⁻¹,扩建占地面积约为新建的 70%~80%;标准交通量的运输成本约为 2.91 元·pcu·km⁻¹。济青北线优化方案见表 5(当量交通量为高峰月交通量减去现有路段的通行能力),济青北线扩建方案(方案 1)、新建方案(方案 2)优化指数计算结果分别见表 6、7,可以看出,济青北线济南—淄博段、淄博—青州段、青州—潍坊段的扩建优化指数分别为 2.15、4.09、3.54,新建优化指数分别为 1.87、3.09、2.73。对比两种方案的优化指数,各路段扩建方案的优化指数均比新建方案的高,建议采用扩建方案。这一结果与实际相符。

表 5 优化方案

Tab. 5 Optimization schemes

济青北线	年平均日交通量/10 ³ pcu	年平均月交通量/10 ³ pcu	年高峰月交通量/10 ³ pcu	四车道月通行能力/10 ³ pcu	六车道月通行能力/10 ³ pcu	八车道月通行能力/10 ³ pcu	当量交通量/10 ³ pcu	扩建	新建
济南—淄博	90	2 693	2 908	1 650	2 400	3 000	1 258	八车道	四车道
淄博—青州	89	2 668	2 882	1 650	2 400	3 000	1 232	八车道	四车道
青州—潍坊	89	2 668	2 882	1 650	2 400	3 000	1 232	八车道	四车道
潍坊—青岛	25	744	804	1 650	2 400	3 000	-846	否	否

表 6 方案 1 计算结果

Tab. 6 Calculation result of scheme 1

济青北线	建设成本/(万元·km ⁻¹)	运输成本/[元·(pcu·km) ⁻¹]	年平均日交通量/10 ³ pcu	运输成本/万元	土地成本/万元	里程/km	优化前路网效率	优化后路网效率	优化指数
济南—淄博	2 940	2.91	90	26.12	707	92.8	1.63	0.90	2.15
淄博—青州	2 940	2.91	89	25.89	707	48.5	1.62	0.89	4.09
青州—潍坊	2 940	2.91	89	25.88	707	55.9	1.62	0.89	3.54
潍坊—青岛	2 940	2.91	25	7.22	707				

表 7 方案 2 计算结果

Tab. 7 Calculation result of scheme 2

济青北线	建设成本/(万元·km ⁻¹)	运输成本/[元·(pcu·km) ⁻¹]	年平均日交通量/10 ³ pcu	运输成本/万元	土地成本/万元	里程/km	优化前路网效率	优化后路网效率	优化指数
济南—淄博	4 200	2.91	90	26.12	1 010	75	1.63	0.90	1.87
淄博—青州	4 200	2.91	89	25.89	1 010	45	1.62	0.89	3.09
青州—潍坊	4 200	2.91	89	25.88	1 010	51	1.62	0.89	2.73
潍坊—青岛	4 200	2.91	25	7.22	1 010				

4 结 语

(1)公路网改扩建是公路网可持续发展的重要工作环节与组成内容,要真正实现公路网改扩建方案的优化,不能仅进行公路网络交通功能的优化,还必须综合考虑交通与资源、环境、土地利用等多方面因素,促进公路网的可持续发展。

(2)通过技术、资金、环境保护等纳入公路网改扩建决策优化中,以路网系统的总交通量最小为目标,以路段服务水平、土地占用、建设投资等为约束条件,构建了公路网改扩建决策优化的双层规划模型,并采用遗传算法求解模型。

(3)实例分析结果表明,公路网改扩建决策模型能够克服传统模型对建设运营资金、环境保护等考虑不足,提供考虑因素更为全面的改扩建优化方案,为公路交通的可持续发展提供参考依据。

公路网规划建设涉及的因素众多,不同的环境当中,对于各种因子赋予的权重也不一样。本文建立的模型基于路段服务水平、土地占用、建设投资等约束,实际情况中决策优化的影响因素更多,路网结构更为复杂,有待于进一步的研究。

参 考 文 献 :

References :

- [1] 李淑庆,李绍鹏.主成分分析在路段运行状况评价中的应用[J].中国水运,2008,8(3):68-69.
LI Shu-qing, LI Shao-peng. The principal component analysis in the section of operation condition evaluation application[J]. China Water Transport, 2008, 8(3): 68-69. (in Chinese)
- [2] 熊列强.交通流理论及其在高速公路中的应用研究[D].武汉:武汉理工大学,2003.
XIONG Lie-qiang. Research on the traffic flow theory and its application on the freeways[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2003. (in Chinese)
- [3] 杨小宝,张宁,关羽.基于行为分析的道路通行能力中车道数因素研究[J].土木工程学报,2009,42(10):104-110.
YANG Xiao-bao, ZHANG Ning, GUAN Yu. Behavior-based analysis of the relationship between expressway capacity and number of lanes[J]. China Civil Engineering Journal, 2009, 42(10): 104-110. (in Chinese)
- [4] 吴群琪,袁长伟.公路网规划研究进展与发展趋势[J].中国公路学报,2007,20(3):91-96.
WU Qun-qi, YUAN Chang-wei. Research progress and development tendency of highway network planning[J]. China Journal of Highway and Transport, 2007, 20(3): 91-96. (in Chinese)
- [5] 罗霞,黄平.高速公路网规划的几个关键问题[J].中国公路学报,2001,14(2):96-98,102.
LUO Xia, HUANG Ping. Several key questions of freeway network planning[J]. China Journal of Highway and Transport, 2001, 14(2): 96-98, 102. (in Chinese)
- [6] 蔡翠.交通区位理论在山东公路网发展战略与规划中的应用[D].长沙:长沙交通学院,2003.
CAI Cui. Application of traffic location theory to highway network development strategy and planning of Shandong[D]. Changsha: Changsha Communications University, 2003. (in Chinese)
- [7] 盖春英,裴玉龙.市域公路网布局优化模型研究[J].公路交通科技,2005,22(10):88-92.
GAI Chun-ying, PEI Yu-long. Study on optimization model for city highway network[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22(10): 88-92. (in Chinese)
- [8] 孙孝文.公路投资项目多目标决策研究[J].武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2007,31(4):615-618.
SUN Xiao-wen. Research on multi objective decision-making of road investment project[J]. Journal of Wuhan University of Technology: Transportation Science and Engineering, 2007, 31(4): 615-618. (in Chinese)
- [9] 张航.高等级公路路线方案优化研究[J].武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2002,26(4):481-484.
ZHANG Hang. On alignment optimization of expressway[J]. Journal of Wuhan University of Technology: Transportation Science and Engineering, 2002, 26(4): 481-484. (in Chinese)
- [10] 张生瑞,严宝杰.交通运输系统协调发展的理论分析[J].长安大学学报:自然科学版,2002,22(2):51-53.
ZHANG Sheng-rui, YAN Bao-jie. Analysis of the transportation system coordination[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2002, 22(2): 51-53. (in Chinese)
- [11] 赵建有,袁华智,蹇小平,等.城市低收入人群出行方式选择模型[J].长安大学学报:自然科学版,2012,32(4):65-69.
ZHAO Jian-you, YUAN Hua-zhi, JIAN Xiao-ping, et al. Selection model of travel mode for urban low-income population[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2012, 32(4): 65-69. (in Chinese)
- [12] 胡卉,程菱,宣登殿,等.容量限制与运输模式联合选择的综合客运枢纽布局模型[J].交通运输工程学报,2012,12(4):59-66.
HU Hui, CHENG Ling, XUAN Deng-dian, et al. Comprehensive passenger hub layout model of combined selection for capacity limitation and transportation mode[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2012, 12(4): 59-66. (in Chinese)