

济青高速改扩建成本效益分析

刘志鹏¹, 李冬麒¹, 王新², 施庆利², 韩国华²

¹山东高速集团有限公司创新研究院, 山东 济南

²山东省交通规划设计院集团有限公司, 山东 济南

收稿日期: 2023年7月4日; 录用日期: 2023年7月10日; 发布日期: 2023年7月19日

摘要

本文以济青高速改扩建项目为例, 利用模糊优化灰色预测模型对项目的成本进行预测分析, 采用投入产出法以及经济效益的相关理论对济青高速改扩建的直接经济效益和就业效益进行了分析。分析结果表明, 利用模糊优化灰色预测模型对济青高速改扩建进行成本预测是可行的, 济青高速改扩建对经济的增长以及就业人数的增长都具有一定的促进作用。分析结果为济青高速改扩建的成本投入和效益分析提供了科学的依据。

关键词

济青高速, 模糊优化灰色预测, 投入产出法, 成本效益

Cost-Effectiveness Analysis of Reconstruction of Jinan-Qingdao Expressway

Zhipeng Liu¹, Dongqi Li¹, Xin Wang², Qingli Shi², Guohua Han²

¹Innovation Research Institute of Shandong Expressway Group Co., Ltd., Jinan Shandong

²Shandong Provincial Communications Planning and Design Institute Group Co., Ltd., Jinan Shandong

Received: Jun. 4th, 2023; accepted: Jul. 10th, 2023; published: Jul. 19th, 2023

Abstract

Taking the reconstruction and expansion project of Jinan Qingdao expressway as an example, this paper uses the fuzzy optimization grey prediction model to predict and analyze the cost of the project. The direct economic benefits and employment benefits of the reconstruction and expansion of Jinan-Qingdao expressway are analyzed by using the input-output method and the relevant theories of economic benefits. The analysis results show that it is feasible to use the fuzzy optimization grey prediction model to predict the cost of the reconstruction and expansion of Jinan-

Qingdao expressway. The reconstruction and expansion of Jinan-Qingdao expressway has a certain role in promoting economic growth and the growth of employment. The analysis results provide a scientific basis for the cost input and benefit analysis of the reconstruction and expansion of Jinan-Qingdao expressway.

Keywords

Jinan-Qingdao Expressway, Fuzzy Optimization Gray Prediction, Input-Output Method, Cost Effectiveness

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

济南至青岛高速公路从青岛开始，向山东省省会济南市延伸，途经潍坊、淄博、滨州三地市，是九十年代初期修建的高速公路，是山东省境内最早的一条高速公路。本论文的研究对象是与济青线方向相同的青银线青岛至唐王枢纽段以及唐王枢纽至零点立交段(如图1所示)，下文简称“济青高速公路”。根据相关交通流量统计，济青高速公路全线平均交通量在2013年就已经达到了56,211 pcu/d，交通量逐年增长，路面车辆载荷压力随之增大，济青高速改扩建势在必行。相较于新建高速公路工程，改扩建项目在成本效益方面更具挑战性。

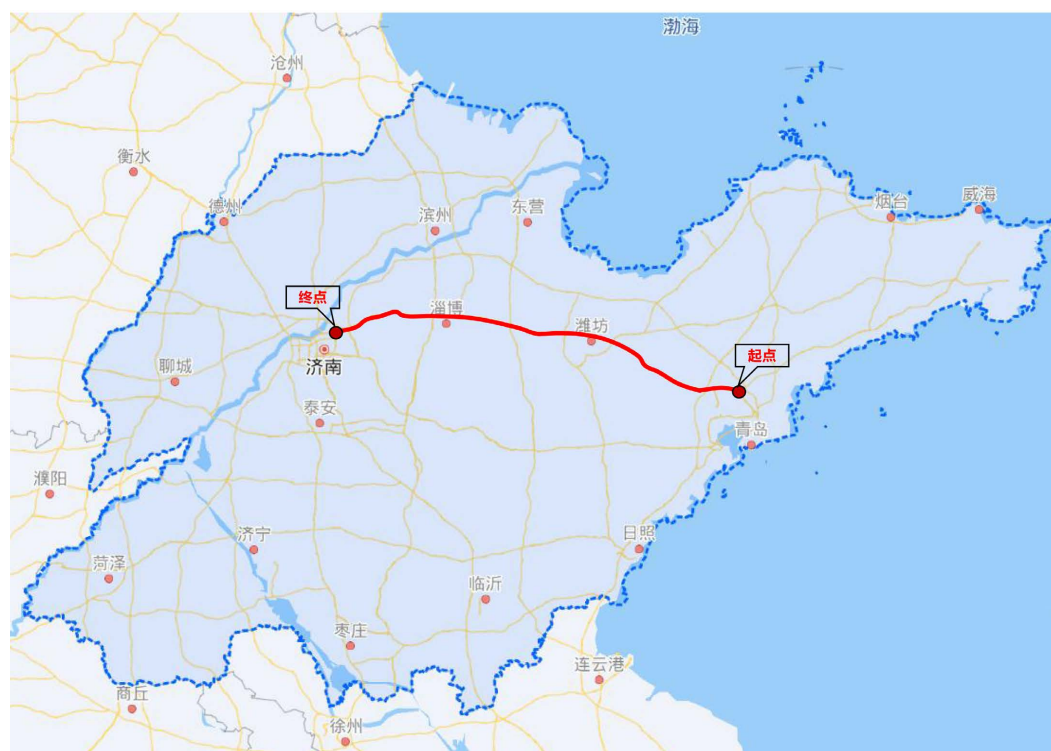


Figure 1. Location map of reconstruction and expansion project of Jinan-Qingdao expressway
图1. 济青高速改扩建项目区位图

针对高速公路改扩建成本的相关研究,国内颁布的公路设计指南主要针对新建高速公路项目,与高速公路改扩建项目相比,其施工过程及成本控制均有很大不同[1]。相较于国内,西方发达国家的造价控制理论和成本控制方法较为完善。Stallworthy 在对影响工程成本的要素进行分析时,引入了动态的影响因子,并建立了 S 曲线成本控制模型[2]; Al-Jibouri 在对工程造价管理有效性监测模型的研究中,运用技术参数、方差、比值等方法,对其进行成本监测[3]。针对高速公路改扩建效益的相关研究,黄忠明和张亮波根据唐津高速改扩建工程的特点以及所需的基本数据、评价参数、指标等,根据工程经济评价的原则和要求,对改扩建工程的经济费用效益进行分析[4]。

基于高速公路改扩建项目的相关研究,本文主要从济青高速改扩建成本和效益两方面展开。利用模糊优化灰色预测模型、投入产出法等研究方法,结合济青高速改扩建项目环境特点,对改扩建工程成本控制方法及经济效益分析等方面展开探讨。

2. 数据来源与研究方法

2.1. 数据来源

本文数据来源于济青高速改扩建项目、山东省高速公路网 2019 年收费数据、济青高速部分观测站的 24 小时交通量观测数据、以及 2017 年山东省投入产出表。

2.2. 研究方法

模糊优化灰色预测模型

灰色系统理论主要适用于研究具有不确定性的系统,它主要是从“部分”信息的生成和开发中提取有用的信息,从而准确地描述系统的运行行为和演化规律[5]。本文则采用模糊优化灰色预测模型[6],提高了预测的精确度,其计算如下:

1) 灰色预测模型 GM(1,1)微分方程及其时间响应函数:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + \alpha x^{(1)} = u \tag{1}$$

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left[X^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right] e^{-ak} + \frac{u}{a} \tag{2}$$

其中, a 为发展灰度, u 为内生控制灰度。

2) 设有原始数据序列 $x^{(0)}(t) = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)) (t=1, 2, \dots, n)$, n 代表序列的长度。将原始数据进行累加得到的新序列如下:

$$x^{(1)}(k) = \sum_{t=1}^k X^{(0)}(t) \{X^{(1)}(1), X^{(1)}(2), \dots, X^{(1)}(n)\} \tag{3}$$

3) 构造 B^* , Y_n 矩阵, 求解参数:

$$B^* = \begin{bmatrix} -[w^* X^{(1)}(1) + (1-w^*) X^{(1)}(2)] & 1 \\ -[w^* X^{(1)}(2) + (1-w^*) X^{(1)}(3)] & 1 \\ \dots & \dots \\ -[w^* X^{(1)}(n-1) + (1-w^*) X^{(1)}(n)] & 1 \end{bmatrix} \tag{4}$$

$$Y_n = [X^{(0)}(2), X^{(0)}(3), \dots, X^{(0)}(n)]^T \tag{5}$$

$$(a^*, u^*)^T = (B^{*T} B^*)^{-1} B^{*T} Y_n \tag{6}$$

其中, w^* 为最优加权因子, B^* 为最优加权因子 w^* 对应的最优矩阵。

4) 将 a^* , u^* 带入时间响应函数:

$$\hat{X}^{(1)}(k+1) = \left[X^{(0)}(1) - \frac{u^*}{a^*} \right] e^{-a^*k} + \frac{u^*}{a^*} \quad (7)$$

5) 求导得出还原模型:

$$X^{(0)}(k+1) = -a^* \left[X^{(0)}(1) - \frac{u^*}{a^*} \right] e^{-a^*k} \quad (8)$$

2.2.2.投入产出法

1) 直接消耗系数

直接消耗系数是指在生产经营过程中第 j 部门(或产品)的单位总产出所直接消耗的第 i 部门(或产品)的数量[7]。其公式如下:

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j} \quad (9)$$

其中, a_{ij} 表示直接消耗系数, x_{ij} 表示第 j 部门生产过程中所消耗的第 i 部门产品的数量, x_j 表示第 j 部门的总产值(具体到公路建筑业是以货币计量的公路建筑、施工单位在一定时期内完成的建筑产品的总量)。

2) 完全消耗系数

计算出各行业之间的直接消耗系数, 建立直接消耗系数矩阵 A , 再根据直接消耗系数矩阵计算出完全消耗系数:

$$B = (I - A)^{-1} - I \quad (10)$$

其中, B 表示完全消耗系数矩阵, I 表示单位矩阵。

3) 完全需求系数

$$C = B + I \quad (11)$$

2.2.3.经济效益

1) GDP 效益

GDP 效益, 表示由于公路建筑业增加最终需求 Δy 为公路建筑业本身所带来的 GDP 增长[8]。计算公式如下:

$$DE_G = G \cdot \Delta Y = g_i \Delta y \quad (12)$$

其中, g_i 代表公路建筑业的增加值系数; ΔY 为 n 行 1 列的列向量, 表示公路建筑业对各产业部门最终需求增加数额。在本文中 ΔY 矩阵中除公路建筑业增加 Δy 单位最终需求外, 其余产业部门最终需求增加为 0。

2) 就业效益

就业效益, 表示由于公路建筑业增加最终需求为公路建筑业所新创造的就业人数。计算公式如下:

$$DE_L = L \cdot \Delta Y = l_j \Delta y \quad (13)$$

3) 经济效益成本比(ERCR)

经济效益成本比是按同一时间和同一折现率, 以同一货币单位按项目计算年限计算的全部效益现值和全部成本现值之比[9]。其计算公式为:

$$EBCR = \frac{\sum_{t=1}^n CI_t (1+i_s)^{-t}}{\sum_{t=1}^n CO_t (1+i_s)^{-t}} \quad (14)$$

其中, $EBCR$ 表示经济效益成本比; CI_t 表示第 t 年的现金流入量; CO_t 表示第 t 年的现金流出量; i_s 表示社会折现率; n 表示高速公路建设项目计算年限。

4) 经济净现值(ENPV)

经济净现值是指用社会折现率将项目计算期内各年的净效益折算到建设期初的现值之和[10]。经济净现值的计算公式如下:

$$ENPV = \sum_{t=1}^n (CI - CO)_t (1+i_s)^{-t} \quad (15)$$

其中, $ENPV$ 表示经济净现值; $(CI - CO)_t$ 表示第 t 年的净现金流量。

5) 经济内部收益率(EIRR)

经济内部收益率是使项目经济净现值等于零时的折现率。经济内部收益率是目前在成本效益分析方面应用最广泛的方法。其计算公式如下:

$$\sum_{t=0}^n (CI - CO)_t (1+EIRR)^{-t} = 0 \quad (16)$$

其中, $EIRR$ 表示经济内部收益率。

6) 经济投资回收期(Pt)

经济投资回收期是反映项目真实清偿能力的重要指标, 它是指通过项目的净收益来回收总投资所需要的时间。其计算公式如下:

$$\sum_{t=0}^{Pt} (CI - CO)_t (1+i_c)^{-t} = 0 \quad (17)$$

其中, Pt 表示需要计算的投资回收期; i_c 表示基准收益率。

3. 实证分析

3.1. 济青高速公路改扩建项目成本分析

交通量预测是公路工程可行性研究中的一个关键问题, 是确定公路工程规模、技术规范、经济评估、财政分析等方面的重要内容。交通量预测的水平和质量将直接影响到项目方案选择的科学性和合理性, 进而影响项目建设的成本。本文利用模糊优化灰色预测模型对济青高速改扩建项目的交通量进行预测分析。

1) 济青高速交通量分析

根据山东省高速公路网所调用的 2019 年收费数据和部分观测站的 24 小时交通量观测数据, 结果显示: 2019 年济青高速公路全线平均交通量已达 58,410 pcu/d (折算小客车, 下同), 其中青岛至潍坊段汽车交通量为 42,276 pcu/d, 潍坊至淄博段平均汽车交通量为 63,597 pcu/d, 淄博至济南段平均汽车交通量为 71,590 pcu/d。

采用模糊优化灰色预测模型对项目建成后的 20 年和 25 年进行交通量预测, 如表 1 和图 2 所示。发现济青高速全线平均汽车交通量 2038 年为 84,538 pcu/d, 2043 年为 92,539 pcu/d, 2019~2029 年交通量年均增长 2.8%, 2030~2043 年交通量年均增长 1.6%, 增速逐渐变缓, 预测期内交通量平均增长 2.0%。对比三个路段的交通量, 发现青岛至潍坊段的交通量增速最快, 预测期内增速为 3.1%; 淄博至济南段总的交通量最大, 2038 年为 93,596 pcu/d, 2043 年为 102,417 pcu/d。

2) 交通量分析结论对建设成本的影响

Table 1. Traffic volume predicting results of Jinan-Qingdao expressway
表 1. 济青高速交通量预测结果

路线	路段	2019	2025	2030	2035	2038	2043
济青高速 改扩建	青岛~潍坊	42,276	55,047	64,925	73,804	78,481	85,657
	潍坊~淄博	63,597	68,699	83,793	78,562	83,867	92,052
	淄博~济南	71,590	77,125	93,914	87,875	93,596	102,417
	全线平均	58,410	69,475	76,641	79,224	84,420	92,421

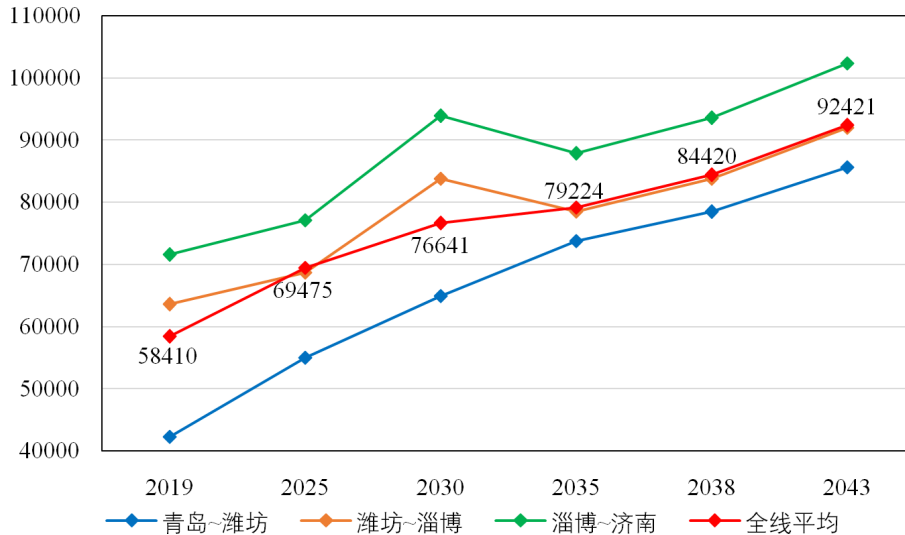


Figure 2. Traffic volume predicting results of Jinan-Qingdao expressway
图 2. 济青高速交通量预测结果

根据上述交通流量的预测，结合相应的施工条件及技术规范，可以确定济青高速公路改扩建项目所采用的技术标准，确定其主要工程规模和建设费用。

针对济青高速改扩建工程的造价问题进行分析，其改造后的路段设计速度与原改建前的路段基本一致，选址也较为合理，而在济青高速改扩建工程中，对改扩建成本最直接的影响因素就是改扩建后的车道数量。

Table 2. Saturated annual average daily traffic volume of expressways (unit: converted passenger cars/day)
表 2. 高速公路的饱和年平均日交通量(单位: 折算小客车/日)

设计速度(km/h)	单向两车道	单向三车道	单向四车道
120	20,000~27,500	27,500~40,000	40,000~50,000
100	17,500~27,500	25,000~35,000	35,000~45,000
80	12,500~22,500	22,500~30,000	30,000~40,000

济青高速公路设计速度为 120 公里/小时，在此设计标准下，在道路每个方向各增加一条车道的情况下，道路的横断面宽度就将增加 7.5 米。若一座要进行改扩建的桥梁全长 10 公里，按现行桥面造价指标 10,163 元/平方米计算，仅改扩建一座桥的建筑安装工程费就会多出 3.81 亿元，因车道数增多而引起的桥架施工费用以及征地拆迁费用不包含在内。

由表 1 及表 2 可知，至 2043 年为满足济青高速公路绝大部分路段的交通流需求并使其高峰时段服务

水平保持在正常水平，须采用双向八车道。

3.2. 济青高速公路改扩建项目经济效益分析

交通项目建设投资的经济效益是指项目建设过程中给某一区域(国家或省)经济(产值、就业等)所产生的影响。以济青高速改扩建工程为例，其直接经济效益是公路建设投资对公路建筑业本身的产值和就业所做的净贡献。

由于济青高速改扩建项目建设期间为 2015 年 12 月至 2019 年 7 月，故根据 2017 年山东省投入产出表计算出 2015~2019 年山东省投入产出消耗系数表。将公路建筑业从建筑业中分离出来，选取建筑业的投入产出系数代表济青高速建设期间山东省投入产出状况。表 3 给出了济青高速建设期间山东省建筑业的投入产出的直接消耗系数、间接消耗系数和完全消耗系数。

Table 3. Input-output consumption coefficient of Shandong construction industry from 2015 to 2019
表 3. 2015~2019 年山东省建筑业投入产出消耗系数表

部门	直接消耗系数	间接消耗系数	完全消耗系数
农、林、牧、渔业	0.009133	0.066643	0.075776
采矿业	0.006267	0.170408	0.176675
食品、饮料制造及烟草制品业	0.003874	0.061668	0.065542
纺织、服装及皮革产品制造业	0.006563	0.044065	0.050628
炼焦、燃气及石油加工业	0.010299	0.071937	0.082236
化学工业	0.046817	0.209958	0.256775
非金属矿物制品业	0.194463	0.080959	0.275422
金属产品制造业	0.165650	0.237219	0.402869
机械设备制造业	0.057372	0.217122	0.274494
其他制造业	0.029654	0.081188	0.110842
电力、热力及水的生产和供应业	0.012692	0.121596	0.134288
其他建筑业	0.032086	0.009199	0.041285
公路建筑业	0.000000	0.000000	0.000000
运输仓储邮政、信息传输、计算机服务和软件业	0.058471	0.112532	0.171003
批发零售贸易、住宿和餐饮业	0.033079	0.095388	0.128467
房地产业、租赁和商务服务业	0.010562	0.090063	0.100625
金融业	0.036065	0.098552	0.134617
其他服务业	0.056468	0.051123	0.107591
中间投入合计	0.769515	1.819620	2.589135

根据表 3 中的完全消耗系数，利用增加值系数和完全消耗系数，可计算出各项目的 GDP 乘数。济青高速改扩建项目的简单 GDP 乘数为 1.65，即每亿元投资可直接拉动 GDP 1.65 亿元，高于东吕高速东营至济南段、潍日联络线潍城至日照段、滨莱高速淄博西枢纽至莱芜段、以及各项目 GDP 乘数的均值和全国均值。济青高速改扩建项目总体产出乘数为 3.58，高于各项目总体产出均值 3.35 和全国均值 3.5。利用各部门劳动力工资水平和完全消耗系数，测算出各项目的就业乘数。济青高速改扩建项目就业乘数为 6853，远高于其他项目，每亿元投资共创造或保留就业岗位约 6853 个，其中公路建筑业 2000 个，其他

部门 4853 个。其投资估算 307.99 亿元，可拉动 GDP 增长 508.19 亿元，拉动就业 211.07 万人次。各项目具体乘数情况如下表 4 所示。

Table 4. Multiplier of reconstruction and expansion project of Jinan-Qingdao expressway and other projects
表 4. 济青高速改扩建项目及其他项目对乘数情况

项目名称	GDP 乘数	总体产出乘数	就业乘数
济青高速改扩建	1.65	3.58	6853
东吕高速东营至济南段	1.56	3.36	5730
潍日联络线潍城至日照段	1.61	3.35	5210
滨莱高速淄博西枢纽至莱芜段	1.71	3.12	5210
平均值	1.63	3.35	5750
全国均值	1.5	3.5	-

根据公式(11)至公式(14)，计算出济青高速改扩建项目国民经济评价指标如表 5 所示：

Table 5. National economic evaluation index table of reconstruction and expansion project of Jinan-Qingdao expressway
表 5. 济青高速改扩建项目国民经济评价指标表

经济指标	经济内部收益率 EIRR (%)	经济净现值($i = 8\%$) EBPV (万元)	经济投资回收期 EPt (动态, 无建设期)	效益成本比
评价指标值	13.3	1758154	12.4	1.76

国民经济评价指标显示，济青高速改扩建项目的经济内部收益率为 13.3%，大于 8% 的社会折现率，表明济青高速改扩建项目是可以接受的。济青高速改扩建项目的经济净现值为 1,758,154 万元($i = 8\%$)，大于 0，表示国民经济为济青高速改扩建项目付出代价后，除得到符合社会折现率的经济社会效益外，还可以得到以现值表示的超额经济社会效益。济青高速改扩建项目的投资回收期为 12.4 年(动态，不含建设期)，小于 24 年的评价期，效益费用比为 1.76，说明该项目有较好的经济社会效益。

4. 结论

本文从区域经济学的角度出发，运用模糊优化灰色预测模型、投入产出法以及经济效益理论对高速公路的成本效益进行分析，得到的主要结论如下：

- 1) 济青高速改扩建项目对经济社会发展和就业岗位具有明显的促进作用，计算结果表明，济青高速改扩建项目每投资 1 亿元，可直接拉动 GDP 1.65 亿元，创造或保留就业岗位约 6853 个。
- 2) 济青高速改扩建项目的经济内部收益率、经济净现值、投资回收期均在可接受的理想水平，表明该项目有很好的经济社会效益。

基金项目

本文得到山东高速集团科技项目和山东省自然科学基金项目(ZR2021MF109)的联合支持。

参考文献

- [1] 罗旭东. FS 高速公路改扩建工程成本研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2011.
- [2] Stallworthy, E.A. (1979) Development in Project Cost Control. *Engineering and Process Economics*, **14**, 29-36. [https://doi.org/10.1016/0377-841X\(79\)90013-5](https://doi.org/10.1016/0377-841X(79)90013-5)

- [3] Al-Jibouri, S.H. (2003) Monitoring Systems and Their Effectiveness for Project Cost Control in Construction. *International Journal of Project Management*, **21**, 145-154. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(02\)00010-8](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(02)00010-8)
- [4] 黄忠明, 张亮波. 高速公路改扩建的经济费用效益分析[J]. 企业科技与发展, 2012(10): 29-33.
- [5] Chen, T.-T. and Hsu, Y.T. (2011) An Economic Analysis of Constructing an Additional Ramp along the Existing National Freeway within the Nantou Area. *GeoHunan* 2011, Hunan, China, 9-11 June 2011. [https://doi.org/10.1061/47634\(413\)22](https://doi.org/10.1061/47634(413)22)
- [6] 宁建根, 杨发顺. 模糊优化灰色预测法在高速公路 OD 矩阵估算中的应用[J]. 交通科技, 2012(S1): 99-102.
- [7] 程恭品, 王清华. 我国交通运输产业宏观经济分析——基于投入产出模型[J]. 生产力研究, 2021(6): 8-15.
- [8] 王林. 公路建设对国民经济的拉动作用分析[J]. 天津经济, 2010(11): 23-26.
- [9] 沈晨卫. 高速公路对区域经济拉动作用的影响分析[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008.
- [10] 庞宇征. 公路运输业对国民经济的贡献研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2006.