

基于标准折算收费法的高速公路通行费收入预测

张磊

天津市政工程设计研究总院有限公司, 天津 300051

[摘要] 高速公路通行费收入是投资决策、资产盘活评估的基础, 从高速公路通行费收入影响因素出发, 对不同高速公路通行费预测模型进行对比分析后, 提出了一种历史数据的标准折算收费预测方法, 结合四川实际高速公路应用与其他预测方法进行对比分析, 并对不同场景条件下的方法选择提出了建议。

[关键词] 高速公路; 通行费收入; 预测模型

DOI: 10.33142/sca.v6i2.8607

中图分类号: U491

文献标识码: A

Prediction of Expressway Toll Revenue Based on Standard Conversion Toll Method

ZHANG Lei

Tianjin Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Tianjin, 300051, China

Abstract: Expressway toll revenue is the foundation of investment decision-making and asset revitalization evaluation. Starting from the influencing factors of expressway toll revenue, this paper compares and analyzes different expressway toll prediction models, and proposes a standard conversion toll prediction method based on historical data. Combining with the actual application of highways in Sichuan, this paper compares and analyzes with other prediction methods, and proposes suggestions for selecting methods under different scenario conditions.

Keywords: expressway; toll revenue; prediction model

高速公路作为国民经济和社会发展的重大基础设施, 具有显著的基础性、公益性、先导性、服务性等特点, 对我国经济与社会的发展有着极大的推动作用。改革开放以来, 以交通专项税费和“贷款修路、收费还贷”等政策为基础, 逐步形成了“中央投资、地方筹资、社会融资、利用外资”的交通运输基础设施投融资模式, 支撑了公路交通运输基础设施建设的跨越式发展。我国高速公路行业发展大致经历了“起步-高速增长-平稳发展”三个阶段。起步阶段(1988-1995): 此阶段高速公路每年新增里程小于500公里, 但由于基数较小, 通车总里程年复合增长率达46.31%。高速增长阶段(1996-2007): 该阶段高速公路年均新增里程达4318公里, 通车总里程年复合增长率达25.90%。平稳发展阶段(2008-至今): 增速均不超过10%。截至2020年底, 我国高速公路里程总计16.10万公里, 在全球处于领先地位。

近年来, 高速公路新建项目广泛采用特许经营、BOT、PPP等模式, 通行费收入这一底层资产的客观真实数据影响着投资方的投资决策; 基于高速公路等存量基础设施成熟资产的公募REITs自2021年上市后蓬勃发展, 资产价值评估的核心同样是高速公路通行费收入。近期通行费数据是评估测算的基础, 而通行费未来增长趋势则是衡量预期价值的重要抓手, 收入增长率是决定评估价值的重要指标之一。影响收入增长率的核心因素有两点, 包括区域经济增长情况、车流量增长情况。经济增长是通行费收入增长的内在驱动力, 宏观经济增长驱动收费公路的车流量增加, 增厚项目利润并且提升资产净资产收益率。车流量增

长则受到路网效应影响, 如平行路分流、交叉路引流等竞争结构变化, 最终影响车流量。

本文通过对高速公路通行费收入影响因素分析, 总结常见的高速公路通行费预测方法, 提出基于历史数据的标准折算收费法, 并以四川省某高速公路的通行费收入的预测为实例, 对本论文的研究方法进行解释和阐述。

1 通行费收入影响因素

在高速收费标准主要受政策指导而较为稳定的情况下, 路网需求旺盛、竞争性道路规划较少, 客货车比例合理的高速公路资产的现金流的增长与稳定更强, 主要是定性分析。路网通行需求宏观上受区域经济发展带动, 区域经济越发达, 周围产业集群越丰富, 产业分布越合理, GDP、人口、汽车保有量态势越好, 区域的高速公路路网通行需求越高, 车流量增长的动力越强。此外, 区域内的产业强弱不仅会影响车流量, 也会影响车流结构和稳定性。一般来说, 货车单价收费高, 但受经济周期波动影响较大, 客车单价收费低, 但稳定性更强。

1.1 客货车比例方面

客货车比例体现的是收益和稳定性的平衡。一般来说, 客车流量大、单价低、稳定性强; 货车流量小、单价高、稳定性差。经验数据表明, 若客货车流量比例为5:5, 客货车通行费收入比例约为3:7, 具体也与客货车的结构有关。稳定性方面, 货车流量受经济周期波动影响, 客货车流相对刚性。货车通行费率较高, 因此相同车流量变化下, 货车占比较大的高速公路的收费收入弹性更大。

货车流量相比客车流量受高铁规划开通的分流影响更小、受区域经济发展变化的影响更大。疫情导致客货车流量稳定性有所变化，民众出行意愿的显著降低，对高速公路的客运需求形成抑制，而货运需求基本稳定增长。

1.2 路网规划方面

路网稳定性一方面受区域产业结构影响下的客货车比例影响，另一方面受政策规划影响。连通性道路的开通和规划对现有高速有引流作用，而道路（公路、铁路、水路等）的开通和未来规划在同一服务区域内，且走向平行或近乎平行，或构成实质性竞争，则可能对现有高速造成分流影响，所处区域路网越稳定、规划期内无新增竞争性道路，项目车流量增长稳定性越强，影响的程度可通过费用、里程、时间、通行舒适度等方面考虑。

从定量角度分析，高速公路通行费收入核心构成要素为：车流量、收费费率和行驶里程，即通行费 = \sum 车流量 * 费率（按车型） * 行驶里程。

关于行驶里程：高速通行里程在投资初期一经确定基本不再变动，为刚性指标。关于收费标准：按照我国现行规定，收费标准由各省自行制定，经营性高速公路收费标准变动需要由交通厅和物价局批准，政府还贷公路则还需要加上财政厅的批准，整体来看为各省自主定价模式，但是近年中央控制物流成本的政策下，各省高速公路定价变化的案例并不是很多，尤其近几年国家对于降低物流成本、提高运输效率方面制定多项政策，收费标准在高速公路通行前确定后很难再有调整。关于车流量：是影响通行费收入的核心指标，具体来看，车流量主要由路产生命周期、区位条件-所属区域的经济活力和客货车流量比例三个因素决定，通过这三个指标的量化进行车流量预测。

1.2.1 路产生命周期

高速公路的车流量在进入稳定期前一般会经历一个快速增长的爬坡期，开始通行时间较晚的高速公路的运营收入超预期的可能性相对较大。一般来说，高速公路的特许经营授权一般为 25-30 年，车流培育期一般在 3-5 年，期间车流增速可达 10%-20%；使用周期十年左右的公路，车流增速约为 8%-10%；后期随着高速路产车流趋于饱和，车流增速一般稳定在 5% 左右。

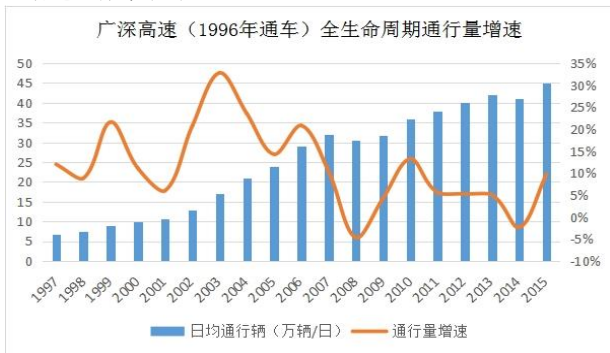


图1 广深高速全生命周期车流量增速

1.2.2 区位条件-所属区域的经济活力

可通过 GDP 规模及增速，区域车流量（旅客周转量、货物周转量），区域产业结构等指标来观察。如长三角地区的高速路产，因沿线地区经济发展状况良好，产业集群丰富，2019 年车流增速大约为 8%-11%，西部地区的高速路产大约为 5%-8%，中部省份的湖北省在车流量增速最高，与其九省通衢的优越地理位置密不可分。

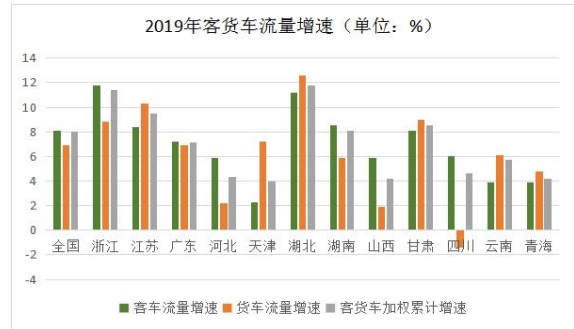


图2 2019年全国客货车流量增速

1.2.3 客货车流量比例

主要取决于区域的产业结构。位于长三角、珠三角等经济发达地区的高速路段，第三产业繁荣、商业活动发达，相对处于产业链的下游，一般以客车车流为主；如果是制造业的生产集散地，或者原材料、粮食等资源地区，那么货运的需求就比较旺盛，如位于中部地区山西、山东等资源型省份的高速路段，货车占比相对更高。正常情况下，各路段的区位优势决定了客货比例的长期稳定性。从全行业来看，目前交通部公布了2019年的高速公路车流量，客车占比约为四分之三。

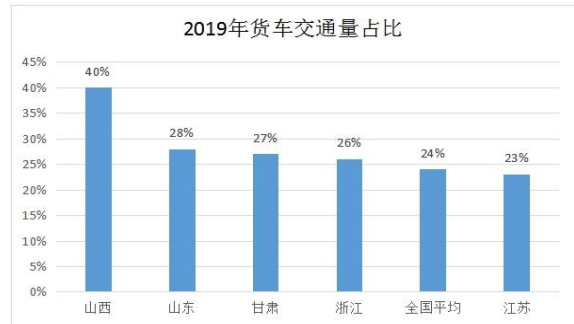


图3 2019年全国货车交通量占比

2 通行费收入预测模型

2.1 社会经济-交通预测法

社会经济-交通预测法以“四阶段法”作为车流量预测的核心，考虑收费标准、收费里程、有效收费比例等边界条件的预测方法^[1]，是目前进行通行费收入预测的主要方法，需要基于项目周边路网建立预测模型，逻辑严谨需求数据较多。

“四阶段法”预测车流量的流程如下：

- (1) 以区域内现行的行政区划为基础，根据拟建公

路所处的地理位置、路网的连接关系、通道内的交通量分布特点,考虑资源分布和拟建项目互通立交布设位置等因素,将高速公路影响区划分交通小区。结合高速公路周边历史数据、周边现状调查数据,通过反复迭代计算、比较,实际断面交通量、OD 调查结果与分配得到的断面交通量、OD 调查结果之间的误差逐步收敛在一定范围内,得到项目影响区域内各车型基础 OD 矩阵表。

(2) 根据交通流量流向的构成情况,对主要发生吸引区域进行社会、经济、交通研究,分析预测弹性系数,采用弹性系数法进一步预测交通量增长情况。

(3) 采用“四阶段法”,首先,在交通运输调查和经济社会调查的基础上,并应用基础 OD 数据,对未来年 OD 矩阵进行预测。其次,结合分配模型及参数标定,进行交通分布预测,同时充分考虑铁路、机场建设等其他运输方式对公路交通的影响。最后,从区域交通出行角度研究区域内交通量的出行路径选择,进行交通分配,预测得到本项目相关路段未来交通量。

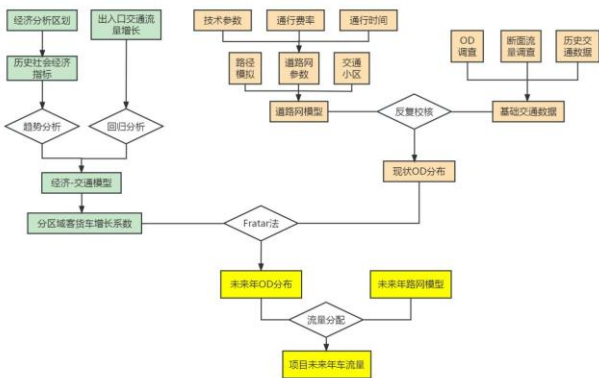


图4 四阶段法工作流程

社会经济-交通预测法计算公式如下:

$$T = \sum_{i=1}^j F_i * S_i * L * D_i * \beta_i \quad (1)$$

其中: T ——高速公路通行费总收入;
 F_i ——第 i 类车型预测交通量;
 S_i ——第 i 类车型对应收费标准;
 L ——高速公路收费里程;
 D_i ——第 i 类车型有效收费天数;
 β_i ——第 i 类车型有效收费车辆比例。

收费车型方面,包括客车车型和货车车型两部分。客车车型按照核定载人数细分为四类车型。货车车型从2020年1月1日起,货车通行费计费方式由计重收费调整为按车(轴)型收费。根据《收费公路车辆通行费车型分类》(JT/T489-2019)货车按照总轴数、车长和最大允许总质量细分为六类车型。具体分类如下。

有效收费车比例方面,考虑军用车、警车、绿色通道等特种车辆通行费,同时结合对高速公路所在地区历史收

费数据的统计,有效通行费比例通常为95%-98%。

表1 客货车车型分类标准

类别	客车	货车
第一类	≤9座	2轴,车长<6米且质量<4.5t(蓝牌)
第二类	9座~19座	2轴,车长>6米或质量≥4.5t(黄牌)
第三类	20座~39座	3轴
第四类	≥40座	4轴
第五类	——	5轴
第六类	——	6轴

有效收费天数方面,根据国务院《重大节假日免收小型客车通行费实施方案》,免费通行的时间范围为春节、清明节、劳动节、国庆节等四个国家法定节假日,以及当年国务院办公厅文件确定的上述法定节假日连休日。免费通行的车辆范围为行驶收费公路的7座以下(含7座)载客车辆,包括允许在普通收费公路行驶的摩托车。每年约有20天免收7座以下即一类车通行费,因此小型客车有效收费天数按全年的345天收费。

2.2 多元回归分析法

多元回归分析通过回归方程定量地刻画一个应变变量与多个自变量间的线性依存关系^[2]。多元回归分析基本思想:虽然自变量和因变量之间没有严格的、确定性的函数关系,但可以设法找出最能代表它们之间关系的数学表达式,并利用样本数据进行分析。针对通行费收入影响因素分析,以项目所属区域经济社会条件作为变量,表达通行费收入所受的影响。经济社会条件中,以GDP、区域人口、客运周转量、货运周转量等指标作为自变量,统计方便且普适性良好。多元回归模型的基本流程包括:(1)利用样本数据对模型参数作出估计;(2)对模型参数进行假设检验;(3)应用回归模型对因变量作出预测。

多元回归分析法依赖历史数据,计算公式如下:

$$T = \varepsilon + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 \quad (2)$$

其中: T ——高速公路通行费总收入;
 $\beta_1 / \beta_2 / \beta_3 / \beta_4$ ——回归参数;
 X_1 ——区域GDP变量;
 X_2 ——区域人口变量;
 X_3 ——区域客运周转量;
 X_4 ——区域货运周转量。

2.3 标准折算收费法

标准折算收费法综合了社会经济-交通预测法和多元回归分析法两种方法,需要历史车流量数据的支撑,但避开了“四阶段法”预测交通量的大量数据调查和复杂模型的建立。通过对四类客车车型折算为标准一类客车车型,对六类货车车型折算为标准一类货车车型,基于客货车占比计算日均标准车流量,基于历史日均标准车流量进行回归分析,预测未来年日均标准车流量,以未来年日均车流量为基数计算得到未来年通行费收入。标准折算收费法计

算公式如下：

$$F_0 = \alpha_{k1} F_{k1} + \alpha_{h1} F_{h1} \quad (3)$$

$$F'' = \varepsilon + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 \quad (4)$$

$$T = F'' * S_i * L * D_i * \beta_i \quad (5)$$

其中： F_0 ——历史日均标准车流量；

F'' ——预测未来日均标准车流量；

α_{k1} ——客车一类占比；

α_{h1} ——货车一类占比；

F_{k1} ——客车一类车流量；

F_{h1} ——货车一类车流量。

3 应用实例

以四川省某高速公路为例，利用 2012 年~2016 年通行费收入数据和车流量数据，分别采用社会经济-交通预测法、多元回归分析法、标准折算收费法三种方法进行 2017 年~2019 年通行费收入预测。

3.1 社会经济-交通预测法的应用

根据本高速所在区域用地类型、路网结构以及通道内交通分布特点，对整个项目影响区域进行交通小区的划分，最终得到了 46 个交通小区。以四川省高速公路联网收费数据得到的断面交通量为基准，将实际断面交通量与 OD 分配得到的断面交通量之间的误差反复矫正直到误差在 5% 以内，得到公路今年汽车出行的分客、货车型的交通量 OD。

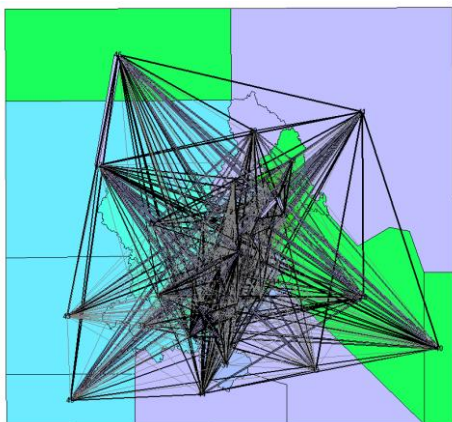


图 5 基年期望线

根据趋势交通量、诱增交通量和转移交通量预测结果，进行交通量分布预测，得到各特征年 OD 分布结果，最终将交通量分配到各路网上得到该高速公路 2017 年~2019 年交通量。基于各车型收费标准，可计算得到目标三年度的通行费收入。

3.2 多元回归分析法的应用

该高速公路所在地区的客货运交通量变动明显，不作为参考变量，论文选取所在地区人口和 GDP 作为预测变量，数据见下表。得到多元回归模型如下所示：

$$T = 106.54 - 5.31X_1 - 2.77X_2 + 0.64X_1X_2 - 0.048X_1^2 + 0.0013X_2^2 \quad (6)$$

表 2 历年经济社会发展指标

年份	总人口 (万人)	生产总值 (亿元)
2009	357.9	411.8
2010	325.2	491.5
2011	326.1	582.5
2012	326.8	656.1
2013	327.5	736.6
2014	328.3	809.6
2015	329.1	915.8
2016	329.8	1008.5
2017	323.6	1138.1
2018	320.2	1221.4
2019	318.9	1345.73

3.3 标准折算收费法的应用

依据下表对客货车进行折算，得到日均标准车数据。

表 3 客货车折算系数

类别	客车	货车
第一类	1	1
第二类	1	1
第三类	1.5	1.5
第四类	1.5	2.5
第五类	—	4
第六类	—	4

历史年日均标准车流量如下表所示。

表 4 历史年份日均标准车流量

年份	2012	2013	2014	2015	2016
日均标准车流量 (辆)	3, 846.10	5, 247.23	5, 534.64	6, 708.06	8, 151.88

3.4 预测结果对比

通过以上三种预测方法，将结果与历史数据比较，以判断断论文提出方法的精确度和可行性。对比结果如下表所示。

表 5 预测结果对比

年份	实际值 (亿元)	社会经济-交通预测法		多元回归分析法		标准折算收费法	
		预测值	误差	预测值	误差	预测值	误差
2012	0.66	0.65	-1.6%	0.66	0.00%	0.66	0.00%
2013	1.39	1.35	-3.1%	1.23	-11.75%	1.32	-5.30%
2014	1.47	1.42	-3.4%	1.59	8.15%	1.52	3.39%
2015	1.78	1.84	3.3%	1.99	11.68%	1.89	6.07%
2016	2.17	2.11	-2.8%	2.03	-6.51%	2.15	-0.98%
2017	2.86	3.08	7.5%	2.42	-15.53%	2.73	-4.71%
2018	3.13	3.55	13.3%	3.59	14.57%	3.36	7.23%
2019	3.81	4.09	7.2%	4.15	8.79%	4.18	9.58%

由预测结果可知，多元回归分析整体波动最大，受经

济社会影响, 预测结果不够稳定。社会经济-交通预测法和标准折算收费法整体预测偏离度不高, 但前者依赖丰富的历史数据、现状数据和精度较高的路网分配模型; 后者没有对模型的要求, 但除了依赖历史交通数据外, 还需要经济、人口数据的支撑, 当预测年份越多时精度越低。

4 结束语

文章从高速公路通行费收入影响因素出发, 对不同高速公路通行费预测模型进行对比分析后, 提出了一种历史数据的标准折算收费预测方法, 结合实际项目应用与传统

预测方法进行对比分析, 并对不同场景条件下的方法选择提出了建议, 为今后类似项目的开展提供了思路。

[参考文献]

- [1] 申稳凯. 高速公路通行费收入短期预测方法研究[D]. 湖南:长沙理工大学, 2017.
- [2] 罗忠燕. 高速公路通行费收入预测方法及应用研究[D]. 重庆:重庆交通大学, 2012.

作者简介: 张磊 (1990.1-), 男, 山东潍坊市 (籍贯), 硕士, 中级工程师, 长期从事交通规划、咨询、设计方面工作。