



智慧交通与交通运输信息化系列丛书

复杂交通问题 决策的系统动力学建模

**COMPLEX TRANSPORTATION PROBLEMS POLICY DECISION-MAKING MODELING
BASED ON THE SYSTEM DYNAMICS METHOD**

何杰 章晨 杭文◎著

1.1



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.



智慧交通与交通运输信息化系列丛书

复杂交通问题 决策的系统动力学建模

Complex Transportation Problems Policy Decision-Making Modeling
Based on the System Dynamics Method

何杰 章晨 杭文 著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书采用系统的观点以及系统动力学方法研究复杂交通决策的评估、分析等问题。全书共分为三大部分:第一部分内容包括社会交通系统的基本运行规律以及交通决策的简要介绍,并且给出了系统动力学方法的历史回顾、基本原理、建模步骤、仿真实验环境搭建等;第二部分内容全面详细论述了系统动力学建模方法在一些具体的复杂交通问题决策中的应用,包括城市交通拥堵、小汽车限牌、城市停车收费、驾驶员培训量预测,以及城市公共交通换乘优惠等;第三部分内容深入分析交通决策实际效用,并给出分析实例。

本书可作为高等学校交通运输工程学科高年级本科生或研究生使用的教学用书,也可供交通运输从业人员、国家交通政策管理人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

复杂交通问题决策的系统动力学建模 / 何杰, 章晨,
杭文著. —北京: 人民交通出版社股份有限公司,
2016. 4

ISBN 978-7-114-12906-3

I. ①复… II. ①何… ②章… ③杭… III. ①交通运
输管理—系统动态学—交通模型 IV. ①U491.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 065005 号

书 名: 复杂交通问题决策的系统动力学建模

著 作 者: 何杰 章晨 杭文

责任编辑: 赵瑞琴

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 7.5

字 数: 175 千

版 次: 2016 年 4 月 第 1 版

印 次: 2016 年 4 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-12906-3

定 价: 28.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前 言

我国城市化进程加快、机动化出行总量不断增加,由此引起的交通供需矛盾和环境污染日益突出,这些问题无不需要交通政策的支持。为了解决这些问题,政府管理部门制定了一系列的交通政策。2001年,道路交通“畅通工程”文件提出,通过道路建设和城市交通管理最大限度缓解城市交通拥堵;2005年,《关于优先发展城市公共交通意见》提出“公交优先”的战略;2010年,“绿色出行”被列为北、上、广、深等一线城市“十二五”期间的重点工作;2012年,机动车限购措施在北、上、广等特大城市逐步推行,外地限行令也在部分城市实施。

然而,单纯用微观数学模型建立的城市交通政策评价模型,很难全面、客观、准确地评估和验证交通政策的有效性。城市系统的复杂性和广度都要求研究者使用系统的观点评估城市综合交通拥堵政策,因此,如何从宏观、中观的角度解析城市交通策略的内在因果关联,如何准确把握和预测政策的有效性,成为目前亟待解决的关键问题。而我国在采用系统观点以及系统动力学方法研究复杂交通决策的评估等方面的综合性书籍还较少,因此本专著的撰写能够填补国内在这一领域的空白,具有较广阔的市场应用前景。

本书的主要特点包括以下几个方面:首先站在系统的角度解决目前复杂交通决策热点讨论的碎片化问题;其次,针对大交通系统,对传统系统动力学方法进行改进和优化;另外,书中还详细分析了一些复杂交通决策效用评价的实例。

本书的成功撰写获得了“高校基本科研业务费专项资金”、“江苏省高校‘青蓝工程’中青年学术带头人培养对象人才项目”等基金的支持,并且获得了相关省市交通运输管理部门基础数据的支撑,同时也离不开东南大学交通学院交通运输工程学科各位老师以及同学的帮助与支持。在这里要特别感谢王峥嵘、蒋靖然等的研究工作,研究生闫雪彤、刘子洋对本书第1、2、6、7章内容的编写做出了贡献。

由于受作者水平所限,书中不妥之处在所难免,欢迎读者指正。

著作者
2016年4月

目 录

第1章 交通系统问题与相关政策	(1)
1.1 交通系统中复杂的社会问题	(1)
1.2 交通问题相关政策概述	(2)
1.2.1 综合交通政策	(3)
1.2.2 智慧交通政策	(3)
1.2.3 绿色交通政策	(4)
1.2.4 平安交通政策	(4)
1.2.5 部分国家交通政策特点	(4)
1.3 交通政策评估方法概述	(5)
1.3.1 交通政策评估流程	(5)
1.3.2 交通政策评估方法	(6)
1.3.3 系统动力学方法的优势	(8)
第2章 系统动力学理论和建模	(9)
2.1 系统动力学概况	(9)
2.1.1 系统动力学的发展历史	(9)
2.1.2 交通领域的应用研究现状	(9)
2.1.3 其他领域的应用研究现状	(10)
2.2 系统动力学原理	(11)
2.2.1 一阶系统模型	(11)
2.2.2 二阶系统模型	(13)
2.3 系统动力学建模	(14)
2.3.1 系统因果关系建立	(15)
2.3.2 系统流图原理及画法	(15)
2.3.3 系统动力学方程构建	(17)
2.3.4 系统动力学模型参数估计	(18)
2.3.5 系统动力学模型检验	(19)
2.4 系统动力学仿真环境搭建	(21)
2.4.1 系统动力学仿真软件	(21)
2.4.2 Vensim 仿真环境搭建	(22)
第3章 基于系统动力学的城市交通拥堵评估	(24)
3.1 城市交通拥堵的基本特征分析	(24)
3.1.1 城市交通拥堵的定义	(24)
3.1.2 城市交通拥堵的特征分析	(24)
3.1.3 城市交通拥堵产生过程分析	(25)

3.1.4	城市各子系统对交通拥堵的影响分析	(26)
3.2	城市交通拥堵系统动力学建模	(26)
3.2.1	城市交通系统结构与要素分析	(27)
3.2.2	城市交通拥堵系统动力学流图设计	(28)
3.2.3	城市交通拥堵系统动力学参数设计及结构方程	(28)
3.2.4	城市交通拥堵系统动力学模型检验	(31)
第 4 章	基于系统动力学的城市车辆限牌政策评估	(32)
4.1	限牌政策的基本特征分析	(32)
4.1.1	限牌政策发展概述	(32)
4.1.2	限牌政策对城市交通的影响	(33)
4.1.3	限牌政策与城市各子系统间的关系	(34)
4.2	限牌政策的系统动力学建模	(35)
4.2.1	系统流图设计	(35)
4.2.2	动力学方程	(35)
4.2.3	模型检验	(37)
4.2.4	仿真结果分析	(37)
第 5 章	基于系统动力学的城市区域停车收费政策评估	(38)
5.1	城市区域停车收费政策分析	(38)
5.1.1	停车收费的分类	(38)
5.1.2	区域停车收费的政策效用分析	(38)
5.1.3	国内外停车收费政策的应用现状	(39)
5.1.4	停车收费的定价原理	(40)
5.2	城市区域停车收费对交通的影响	(41)
5.2.1	区域停车收费对交通需求的影响	(41)
5.2.2	停车收费对城市交通的影响分析方法	(41)
5.2.3	停车收费与城市各子系统间的关系	(42)
5.3	停车收费的系统动力学建模	(43)
5.3.1	城市交通结构特征分析与流图设计	(43)
5.3.2	动力学结构方程	(43)
5.3.3	模型检验	(45)
5.3.4	仿真结果分析	(45)
第 6 章	基于系统动力学的城市公共交通票价政策评估	(46)
6.1	城市公共交通票价政策概述	(46)
6.1.1	国内外城市公共交通票价政策回顾	(46)
6.1.2	公共交通票价对公共交通出行的影响	(48)
6.2	常规公交换乘 SD 模型构建	(48)
6.2.1	子系统解析	(48)
6.2.2	系统因果回路	(53)
6.2.3	系统模型流图	(54)

6.2.4	系统动力学方程构建	(54)
6.2.5	模型验证算法	(58)
6.3	常规公交换乘 SD 模型应用结果分析	(58)
6.3.1	模型要素敏感性分析	(58)
6.3.2	不同公共交通票价政策影响下城市交通状态分析	(59)
6.4	基于 SD 的公共交通票价政策评估方法	(60)
第 7 章	基于系统动力学的驾驶员培训量预测	(61)
7.1	现阶段我国驾驶员培训需求特征分析	(61)
7.1.1	机动车保有量特征分析	(61)
7.1.2	机动车驾驶员培训量特征分析	(62)
7.2	驾驶员培训量预测的必要性分析	(64)
7.2.1	驾驶员培训与交通安全关联性	(64)
7.2.2	驾驶员培训量预测对驾校规划的影响	(65)
7.3	小型汽车驾驶员培训量阶段性预测	(66)
7.3.1	阶段性预测方法综述	(66)
7.3.2	趋势外推法	(67)
7.3.3	基于市场饱和理论的分项预测法	(68)
7.4	基于系统动力学的小型汽车驾驶员培训量预测	(70)
7.4.1	系统动力学建模过程	(70)
7.4.2	系统边界的确定	(71)
7.4.3	系统因果关系分析	(71)
7.4.4	系统动力学模型构建	(78)
第 8 章	交通系统政策评估应用实例分析	(80)
8.1	城市交通拥堵评估实例分析	(80)
8.1.1	城市交通拥堵评估实例场景设置和模型检验	(80)
8.1.2	城市交通拥堵评估结果分析	(81)
8.2	常规公交换乘票价政策评估实例分析	(83)
8.2.1	S 市公共交通基础数据及仿真初始参数设置	(83)
8.2.2	S 市公共交通换乘优惠政策的系统动力学模型检验	(84)
8.2.3	S 市公共交通换乘优惠政策的系统动力学模型仿真因果关系	(85)
8.2.4	S 市公共交通换乘优惠政策评估分析	(86)
8.3	小型汽车驾驶员培训量的预测实证分析	(90)
8.3.1	A 市驾驶员培训现状	(90)
8.3.2	阶段性预测模型构建	(92)
8.3.3	基于市场饱和的分项预测模型构建	(92)
8.3.4	系统动力学预测模型构建	(94)
8.3.5	结果比较	(105)
参考文献		(108)

第 1 章 交通系统问题与相关政策

交通是指在城市区域系统内和城市间,利用交通工具,通过时间的延迟、空间的占用,将客货的发生点和消失点联系起来,实现人流、物流、车流和部分信息载体的空间位移并到达一定目的地的基本手段。交通是整个城市生产、生活从静态转入动态,完成城市生存发展所必需的多种活动的主要保证,是城市基础设施的重要组成部分。

交通系统是一个复杂的庞大系统,作为对象的因素数目多,因素之间的关系复杂并且相互影响。近年来,随着我国社会经济的快速发展,交通现代化水平不断提高,机动车数量飞速增长,交通拥堵、停车难、交通安全事故频发、环境污染等问题日益突出,为交通系统的运行管理带来了更加巨大的挑战。为了应对这些挑战,我国出台了相关法规政策来协调交通系统内部各要素,从根本上缓解城市交通问题。

本章将从交通系统问题入手,从宏观层面上探讨解决交通问题的相关政策措施,并对交通政策的评估方法进行初步讨论。

1.1 交通系统中复杂的社会问题

交通系统是多种因素相互作用所构成的复杂体系,从总体上看,交通系统内部要素失调的结果是产生了一系列交通问题,比如交通供给与需求要素失调所造成的交通拥堵、停车难等问题,机动车使用要素与环境要素失调所造成的环境污染问题,交通组织管理要素与驾驶行为要素失调所造成的交通安全问题等,如图 1-1 所示。

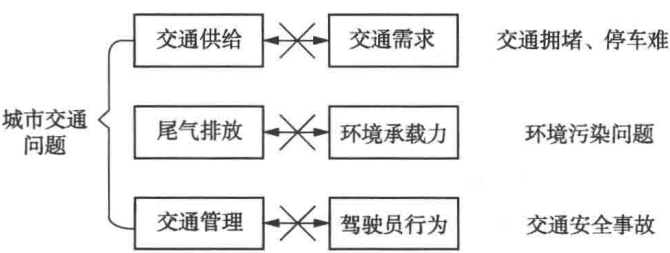


图 1-1 关联因素不平衡与城市交通问题

1) 供需平衡问题

对城市交通系统而言,交通需求相当于系统的输入量,交通供给具体表现在城市交通基础设施建设以及公共交通投入水平等指标上,可以看作是城市交通系统的状态变量,而系统的输出值则为城市交通系统的平衡状态。当城市交通供给不能容纳日益增长的交通需求,



即交通系统的输入量超出系统承受范围时,交通系统将会发生溢出,具体表现就是城市交通拥堵、停车难等问题。

同时,随着我国发展步入“新常态”,城市交通需求结构发生明显变化,而供给结构调整则相对滞后,出现了无效供给过剩和有效供给不足并存的结构性问题,具体表现为交通服务方式单一,缺少个性化服务,供需双方信息不对称等。

2) 环境污染问题

城市交通环境污染通常表现在尾气污染、噪声污染、光污染三个方面,其中最为严重的是尾气污染。当城市机动车排放的尾气超过城市自然环境的净化能力与承受能力时,就构成了环境污染。

近年来随着我国机动车保有量迅速增长,同时由于城市道路拥堵所造成的机动车行驶缓慢、停车次数增加等,城市交通尾气排放已经成为城市大气污染的最大污染源。

3) 交通安全问题

影响城市交通安全问题的因素有很多,总体上可以归纳为交通管理组织与驾驶员驾驶行为之间相互博弈的结果,具体而言就是,交通政策法规的颁布实施与交通违法监控执行力度的提高可以在一定程度上限制驾驶员的驾驶行为,从而减少交通事故的发生。同时驾驶员自身素质因素、车辆技术状况以及外界环境因素等也会对交通安全产生影响。

1.2 交通问题相关政策概述

针对我国现阶段交通系统出现的各种问题,2014 年全国交通运输工作会议确定了“四个交通”即综合交通、智慧交通、绿色交通、平安交通的发展方向,其中综合交通是核心,智慧交通是关键,绿色交通是引领,平安交通是基础。这为我国城市交通政策的制定指明了方向,理清了思路。城市交通相关政策如图 1-2 所示。

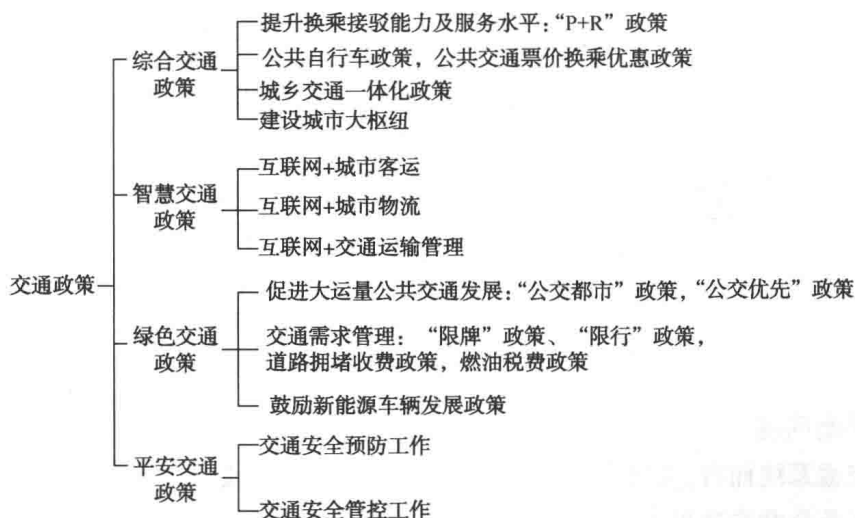


图 1-2 交通相关政策概述



1.2.1 综合交通政策

综合交通是指各种运输方式融合交汇、统筹发展,在城市中构建不同层次、不同方式的运输网络,合理配置和优化整合交通运输资源,从而提高交通基础设施使用效率,发挥组合效率和整体优势,在有限的空间内让城市交通供给发挥最大能力。

1) 提升换乘接驳能力及服务水平

具体政策措施包括布置换乘停车场的“P+R”政策,满足“最后一公里”出行需要的公共自行车政策以及公共交通票价换乘优惠政策等。

2) 构建城乡一体化交通系统

长期以来,受到我国城乡二元经济结构的影响,城市与周边乡镇的交通基础设施有较大差距,无法实现对接。近年来,随着社会主义新农村建设进程的加快,作为发展先行官的交通成为转变城乡二元经济结构的主要动力。构建城乡一体化交通系统具体政策措施包括:建立和完善多层次的城乡交通网络及枢纽场站,优化城乡公交和班线运输服务,统一城乡交通管理服务(比如城乡公交“一卡通”等)。

3) 建设城市大枢纽

城市大枢纽是指整合公交、地铁、出租等城市交通和铁路、航空等区域交通多种交通方式的客货运中心,是交通集约化、综合化发展的重要体现。通过发挥多种交通运输方式的组合效率和整体优势,更有利于城市汇集人流、物流、资金流,促进城市发展。

1.2.2 智慧交通政策

智慧交通的内涵是“互联网+交通运输”,通过提高交通系统的信息化、智能化水平,加快系统内部客流、物流、信息流的循环速度,促进交通供需双方的信息匹配均衡,是推进交通管理创新的重要抓手,可提升交通运输服务水平,推动交通运输转型发展。

1) “互联网+城市客运”政策

将信息化技术运用于城市客运交通中,提高客运交通服务水平与运营效率,具体措施包括实行全国公共交通“一卡通”,建设智能公交站台、公交优先信号控制系统、智能交通诱导系统,推出基于移动互联的定制公交、专车、拼车服务等。

2) “互联网+城市物流”政策

通过信息化技术实现智能仓储、智能分拣配送和智能快递货柜网点等,进而整合物流、资金流、信息流,实现物流全过程跟踪控制,降低成本,提高效率,同时可以实现企业信息互联,有助于共同配送的开展实施。

3) “互联网+交通运输管理”政策

运用现代化信息技术、网络技术、通信技术、GPS技术、视频监控技术,将各类交通运输信息从采集、处理到为社会提供服务加以系统化,实现资源共享,优化资源配置,从而逐步达到智能化的交通运输、现代化的运营管理。具体措施包括不停车收费(ETC)系统的运用,基础设施养护情况数据云存储,电子警察系统,民用车辆“车联网”技术,构建信息化诚信考查体系等。



1.2.3 绿色交通政策

绿色交通政策是通过加快推进绿色循环低碳交通基础设施建设、节能环保运输装备应用、集约高效运输组织体系、交通环保监管体系建设,实现节约资源、提高能效、控制排放、保护环境的目标。

1) 促进大运量公共交通发展

如以城市公共交通引导城市发展导向“公交都市”政策,为公共交通提供路权优先和时间优先的“公交优先”政策等。

2) 交通需求管理

包括控制城市机动车总量的“限牌”政策,控制机动车使用数量的“限行”政策和道路拥堵收费政策,提高燃油税费以及设定油价调控下限等。

3) 鼓励新能源车辆发展

具体措施如在公共交通领域推广使用新能源车辆,淘汰黄标车,对民用新能源车辆推行补贴优惠政策,推进城市充换电设施建设等。

1.2.4 平安交通政策

交通运输部于2013年发布了《交通运输系统“平安交通”创建活动实施方案》,从安全生产责任体系、隐患排查治理、风险管理、安全诚信、企业标准化等方面阐述了“平安交通”的工作内容。总体而言,就是要把交通安全发展理念贯穿于各领域、全过程,强化安全治理体系和治理能力建设,提高交通运输安全发展的防、管、控能力和安全事故应急处置能力,构建可持续的交通安全环境。

1) 交通安全预防工作

通过规范驾驶员培训考查制度,开展交通安全宣传活动,建立交通事故多发时段、路段的长效预警机制等,提高交通参与人的安全意识,降低交通安全事故发生的概率。

2) 交通安全管控工作

严查酒驾、疲劳驾驶、超速驾驶、超限超载运输等交通违法行为,规范执法流程。

1.2.5 部分国家交通政策特点

1) 美国

政策目标设定具有动态性,强调交通系统的系统性和整合性,强调运输部门与其他部门之间的协作,并且具有相对完备的政策实施评价体系。

2) 欧盟国家

减少不必要的交通增长,创新交通基础设施融资制度,划分责任使外部成本内部化,对燃油税进行细致分类。

3) 英国

交通一体化(管理部门权限一体化;各种运输方式发展策略一体化;新建基础设施、管理既有设备及调整基础设施价格一体化;交通规划与土地利用一体化),体现以人为本的理念。



4) 加拿大

在制定交通政策的过程中考虑区域经济一体化以及偏远地区对交通运输的需要,在技术革新过程中重视大学等科研机构的作用,将各利益方纳入交通政策制定过程中。

1.3 交通政策评估方法概述

交通政策的评估是为了及时验证交通政策的实施效果而进行的一项必要工作。通过交通政策的合理评估,可以发现交通政策中的不合理之处,从而及时做出调整,确保交通政策的有效性。

1.3.1 交通政策评估流程

交通政策评估流程主要可以分为三个阶段:政策环境变化评估、政策自身综合评价和政策实施效果评估,如图 1-3 所示。

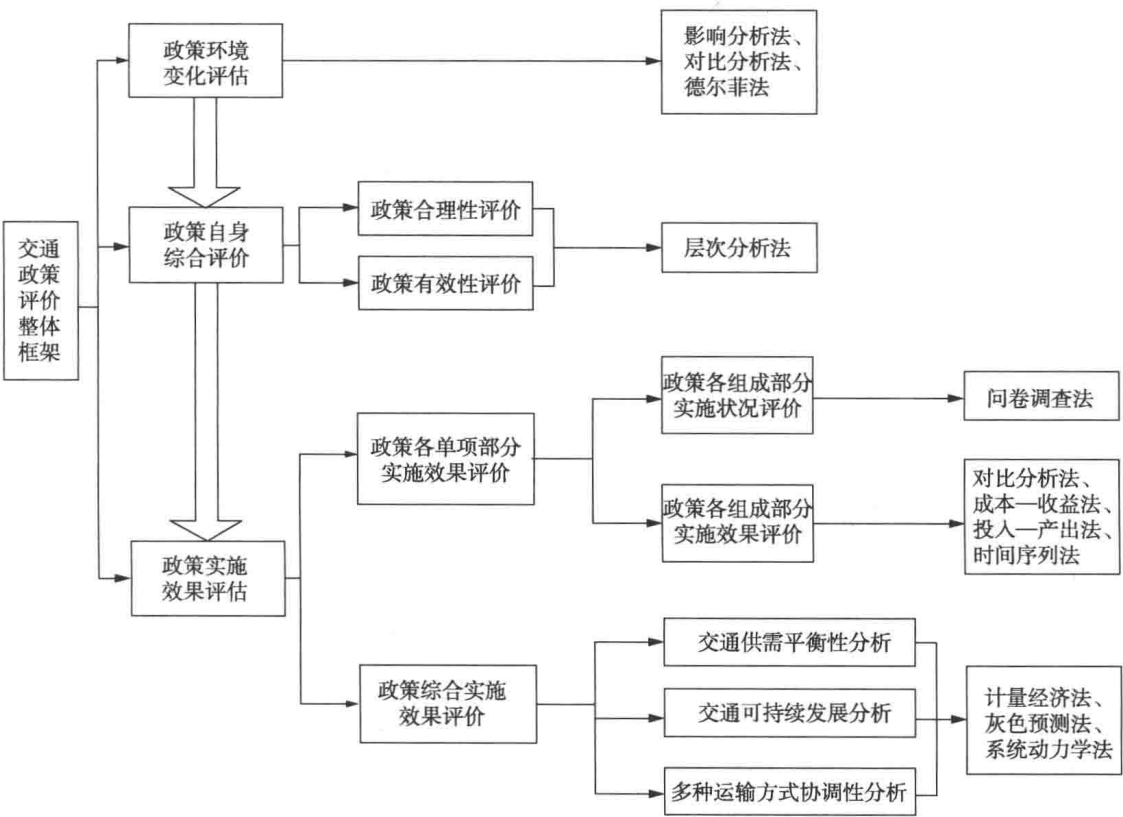


图 1-3 交通政策评估框架

第一阶段主要研究对象是交通政策出台的相关背景条件,如社会经济环境、政治环境、自然地理环境等,分析环境条件的变化趋势以及与交通政策之间的相互作用关系;第二阶段是从政策的合理性和有效性角度出发,对政策本身进行综合评价,剔除交通政策不符合现实发展条件或相互矛盾的内容;第三阶段是对交通政策的实施效果进行评估,首先是对停车收费、交通限行等单项交通政策的实施状况进行调查,分析各单项部分的实施效果,之后将单



项政策评估指标汇总,对交通政策进行综合评估,从交通供需平衡性、交通可持续发展、交通运输方式协调性等角度评价交通政策的实施效果。

1.3.2 交通政策评估方法

交通政策评估方法可以分为定性评估、定量评估和综合评估三种类型。其中常用的定性评估方法有对比分析法、影响分析法、问卷调查法和德尔菲法等;定量评估方法主要有成本—收益分析法、计量经济法、投入—产出法和运用于政策实施效果预测的时间序列法等,综合评估方法有层次分析法、灰色预测法以及系统动力学方法等,如图 1-4 所示。

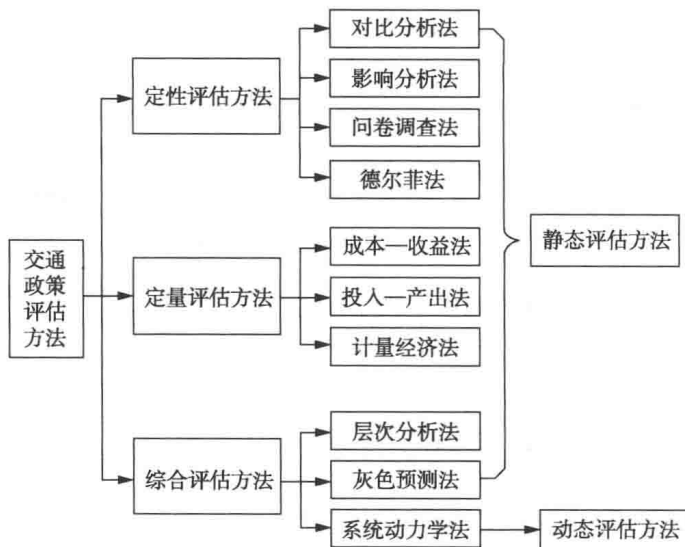


图 1-4 交通政策评估方法

1) 定性评估方法

(1) 对比分析法。确立政策标杆,通过现有实施政策与标杆政策的效果对比来显示现有实施政策与标杆政策之间的差异,借以了解现有实施政策的有效性和存在问题的一种分析方法。

(2) 影响分析法。影响分析法是分析相关交通政策所发生的成本和效益对社会经济发展、城市交通环境等所带来的影响,从而提出促进政策顺利实施及提高政策影响效果的措施建议。

(3) 问卷调查法。向目标对象发放调查问卷,根据被调查者填写的信息来判断评估政策实施所带来的影响并获得相关建议的方法。

(4) 德尔菲法(专家意见法)。由调查者拟定政策调查表,按照既定程序,以函件的方式分别向专家组成员进行征询;而专家组成员又以匿名的方式(函件)提交意见。经过反复征询和反馈,专家组成员的意见逐步趋于集中,最后获得具有较高准确率的集体判断结果。

2) 定量评估方法

(1) 成本—收益分析法。成本—收益分析法主要是通过比较政策实施所付出的边际成本 MC 和取得的边际效益 MR 来分析政策实施效果。当 $MR = MC$ 时,交通政策实施所获得



的社会效益达到最大。

其中, MR 表示政策实施所产生的边际收益, MC 表示实施政策所付出的边际成本。

(2) 计量经济法。“计量”的意思是“以统计方法做定量研究”。计量经济学方法是以一定的经济学理论和统计资料为基础,运用数学、统计学方法与计算机技术,以建立经济计量模型为主要手段,定量分析研究具有随机性特性的经济变量关系。

将计量经济学运用于交通政策的评估,主要有以下三种思路:一是给定目标变量的预期值,即希望达到的目标,通过求解模型,得到政策变量值;二是将不同的政策代入模型,计算各自的目标值,然后比较,决定政策的取舍;三是将计量经济学模型与最优化方法结合起来,选择使得目标最优的政策或政策组合。

(3) 投入—产出法。投入—产出法是指把一系列内部部门在一定时期内投入(购买)来源与产出(销售)去向排成一张纵横交叉的投入—产出表格,其横向反映各部门产品按经济用途的消耗情况,其纵向反映各部门产品的价值构成,根据此表建立数学模型,计算消耗系数,并据以进行经济分析和预测的方法。

横向平衡关系式: $X_{ij} + Y_i = X_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$

纵向平衡关系式: $X_{ij} + D_j + V_j + M_j = X_j \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n)$

$$a_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_j}$$

式中: X_i ——表示第 i 部门的产值;

X_{ij} ——表示第 j 部门在生产过程中所消耗的第 i 部门产品的数量;

Y_i ——第 i 部门最终产品的合计数;

D_j ——第 j 部门在生产过程中所消耗的固定资产价值,即固定资产折旧额;

V_j ——第 j 部门所支付的劳动报酬;

M_j ——第 j 部门所创造的社会纯收入数额,它由利润、税金等组成;

a_{ij} ——表示第 j 部门对第 i 部门的直接消耗系数。

投入—产出法是一种特殊的计量经济学方法,它既可以通过投入产出表格来表示政策实施过程中消耗资源成本与创造实际价值的均衡关系,也可以通过计算消耗系数来反映参与政策实施的各部门之间的联系与资源使用的效率。

(4) 时间序列法。利用按时间顺序排列的数据预测政策实施后经济指标、交通量等的变化,从而评估政策实施的效果。根据处理数据方式的不同,时间序列法又可以分为移动平均法和指数平滑法等。

3) 综合评估方法

(1) 层次分析法。将与政策实施有关的元素分解成目标、准则、方案等层次,在此基础上进行定性和定量分析的方法。其过程是将决策问题分解为目标层、准则层、方案层三个层次,通过相互比较确定各准则对于目标的权重及各方案对于每一准则的权重,将方案层对准则层的权重及准则层对目标层的权重进行综合,最终确定方案层对目标层的权重。其中权重主要是通过构造成对比较阵,计算最大特征根与归一化特征向量等过程来实现。



层次分析法将方案层对目标层的权重值进行排序,根据排序结果分析各项政策方案对实现既定目标的贡献程度,比较政策方案的优劣性,同时也可以据此判断政策实施的效果是否偏离既定目标。

(2)灰色预测法。交通系统是一个典型的灰色系统,即其中既含有信息已知的变量,也含有信息未知的变量。在交通政策评估过程中,对某些缺少足够数据支撑的变量无法做定量分析,这时就可以运用灰色预测法进行政策评估。

灰色预测法通过鉴别系统因素之间发展趋势的相异程度,即关联分析,对原始数据进行生成处理来寻找系统变动的规律,生成有较强规律性的数据序列,进而建立相应的微分方程模型,预测相关因素未来发展趋势的状况,以此评价政策实施的效果。

(3)系统动力学方法。系统动力学方法综合了反馈控制论、信息论、系统论、决策论、计算机仿真以及系统分析等试验方法,建立系统内部各关联要素之间的动态微分方程,利用因果反馈关系描述系统的动态复杂性。通常情况下,交通政策作为外部影响因素及系统驱动力引入到交通系统中,可以运用系统动力学仿真模拟不同政策对交通系统中要素及要素之间行为关系的影响,从而评估交通政策的有效性。

1.3.3 系统动力学方法的优势

相比于上文论述的多种政策评估方法,系统动力学方法用于政策评估具有如下四个方面的优势:

(1)系统动力学方法是一种动态评估方法。

系统动力学通过建立连续时变的动态微分方程以及系统各要素的因果反馈关系图,更适合分析评估政策对系统内动态要素如人口、交通流量、居民出行量等的影响。

(2)系统动力学方法实现了定性分析与定量分析的结合。通过构建系统因果关系图可以定性分析各要素之间的反馈关系,通过求解微分方程可以定量评估政策对系统中要素的影响程度。因此,即使出现数据不足或某些数据难以量化的情况,系统动力学方法仍可以根据有限的条件进行推算分析。

(3)系统动力学方法擅长处理长期性、周期性的问题。传统评估手段在处理长期性问题时容易出现较大误差,而系统动力学方法由于涵盖了多种系统要素并从整体上构建了各要素之间的作用关系,因此可以降低不确定因素对评估过程的影响。

(4)系统动力学方法可用于复杂的系统问题。复杂问题中各因素之间的函数关系通常是高阶非线性的,运用一般的数学方法难以求解,而系统动力学方法则可以借助于计算机仿真来分析复杂系统问题。

在交通政策制定过程中,由于交通系统的复杂性、动态性和不确定性,过于精确的预测与分析很难实现也没有必要,更需要的是“粗线条”的趋向性分析,相比于传统定性、定量分析手段,系统动力学方法在定性分析系统要素相互作用关系的同时,也将这些关系通过构建动态微分方程进行量化表示,并且运用计算机仿真技术实现交通要素作用关系的动态模拟,有利于发现产生交通问题的本质,反映政策实施的效果。因此系统动力学方法无疑是分析交通系统、评估交通政策的最优方法之一。

第2章 系统动力学理论和建模

系统动力学(System Dynamics, SD)是系统科学理论与计算机仿真紧密结合、研究系统反馈结构与行为的一门科学,是系统科学与管理科学的一个重要分支。系统动力学认为,系统的行为模式与特性主要取决于其内部的动态结构与反馈机制,它通常使用定性与定量结合、系统综合推理的方法来分析处理社会、经济、生态和生物等一类复杂大系统问题。

2.1 系统动力学概况

系统动力学从产生到理论成熟经历了数十年的发展以及多领域的运用实践,下面将从系统动力学的历史发展和国内外研究现状对其进行基本介绍。

2.1.1 系统动力学的发展历史

国际上系统动力学的发展主要分为三个阶段:

(1)第一阶段:20世纪50~60年代系统动力学的诞生。系统动力学的出现始于1956年,其创始人为美国麻省理工学院的福瑞斯特(Jay W. Forrester)教授。初期系统动力学主要应用于工业企业管理,处理诸如生产与雇员情况的波动、市场股票与市场增长的不稳定性问题。

(2)第二阶段:20世纪70~80年代的发展成熟。20世纪70年代初,拥有来自26个国家的75名科学家的罗马俱乐部针对世界面临的人口增长与资源日益枯竭问题利用系统动力学的方法先后建立了WORLD II和WORLD III世界模型,并发表了关于世界性问题的报告《增长的极限》。

同一时期,Forrester领导的麻省理工学院系统动力学小组,针对美国社会经济问题利用系统动力学的方法建立了美国国家模型,研究解决美国70年代以来的通货膨胀、失业率和实际利率同时增长等问题。在项目管理领域,1980年K.G. Cooper用SD模型来分析、量化一个大型军事造船工程中成本超额的原因。这些研究应用使SD受到了世界范围的关注,促进了它在世界范围内的传播与发展,确立了其在社会经济问题研究中的学科地位。

(3)第三阶段:20世纪90年代到目前,系统动力学的广泛应用与传播。在这一阶段,SD在世界范围内得到广泛的传播,其应用范围更广泛,并且获得了新的发展。“从公司的战略研究到艾滋病毒与人类免疫系统间的斗争。SD也被用于各种产业——上至航天飞行器,下到锌工业,以及从艾滋到福利改革的各种问题”(Sterman, 2000)。

2.1.2 交通领域的应用研究现状

社会交通系统是一个复杂的动态系统,构成要素众多,反馈机制复杂,各个子系统之间



和各个变量之间都存在着复杂的非线性的相互作用和反馈关系,鉴于这样的特征,国内许多专家学者采用系统动力学的方法来研究社会交通系统问题。

(1)交通需求管理方面。可以运用系统动力学的方法构建交通需求管理适应性因素模型研究各因素之间的相互作用机理^[1],探索城市交通需求管理与交通基础设施建设、城市交通管理组织因素、城市交通公众参与以及政府其他职能部门相协调过程中存在的问题。

(2)治理交通拥堵方面。通过分析交通拥堵的形成机理,整理出参与其中的各个相关要素,比如人口、土地利用、经济、环境、政策等,运用系统动力学的方法建立城市交通拥堵形成机制模型,描绘拥堵机制因果反馈图,从交通系统供需、交通结构、土地利用三个角度出发,既可定性分析“修路治堵”、“类修路型”、“刚性干预型”、“供给调整型”、“需求引导型”、“疏堵并置型”等治堵政策对城市交通拥堵的作用效果^[2],也可以通过研究系统各要素的变化趋势,预测城市未来交通拥堵情况。

(3)复杂交通流网络管控方面。交通流网络管控涉及机器系统和人工系统两个方面,其中机器系统包括信号控制和交通诱导系统,人工系统包括交通需求管理系统和交通组织系统。为了从宏观角度研究城市道路交通流瓶颈问题,可以运用系统动力学整合各子系统的典型要素,建立交通流管控仿真模型,协调各子系统之间的关系,从而得到交通流管控组织最优策略^[3]。

(4)城市交通结构方面。城市交通结构体现了城市各交通运输方式之间的比例关系,一个城市交通结构的形成与发展受到城市社会经济发展、城市交通供需状况、城市居民出行特征、城市土地利用状况、城市路网结构以及城市交通发展规划政策等因素的影响,通过构建城市结构影响因素的系统动力学仿真模型,可以分析各要素与城市交通结构的相互作用关系,探索城市交通结构的发展趋势^[4]。

(5)区域交通与经济发展关系方面。作为物质实体流动的载体,区域交通与经济发展之间存在密不可分的关系,可以运用系统动力学的方法研究区域经济、交通运输需求和交通运输供给等因素的相互作用关系,建立经济圈交通系统的动力学模型,探讨经济圈区域经济与交通系统的协同发展问题以及交通运输供需均衡问题^[5]。

2.1.3 其他领域的应用研究现状

除了交通领域,系统动力学在其他领域也有广泛的应用。

(1)物流与供应链管理领域。在市场全球化、一体化的环境中,市场竞争日趋激烈,客户的要求越来越高,产品的生命周期越来越短,大大增加了供应链管理的不确定性、多样性、动态性,呈现出复杂的动态行为模式,增加了供应链管理的难度^[6]。系统动力学方法则提供了解决复杂生产、库存、销售等供应链管理问题的有效手段。

(2)金融领域。金融市场是一个典型的复杂多体相互作用系统,运用系统动力学方法可以对区域金融环境中各影响要素的关系进行分析,明确存在的问题,并对经济发展趋势实现科学性的预测^[7]。

(3)项目管理科学领域。基于系统动力学建立公共项目过程管理系统模型,可以有效分析系统的结构和变量之间的因果关系,能够较好体现公共项目系统内部各要素之间的关系,