

ROAD TRAFFIC

ORGANISATION AND SIMULATION

EVALUATION

道 路 交 通

组织优化与仿真评价理论与方法

隋亚刚 郭 敏 吴建平 编著



人民交通出版社

China Communications Press

Road Traffic Organisation and
Simulation Evaluation

道路交通组织优化与 仿真评价理论与方法

隋亚刚 郭 敏 吴建平 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书共分三篇,上篇为道路交通组织优化的理论与方法,主要包括概论、道路交通组织优化的设计原则、方法和设计思路;中篇为道路交通组织优化方案的仿真评价理论与方法,主要介绍交通仿真软件及模型参数校验、道路交通组织方案仿真评价的基本框架与数据标准化、道路交通组织方案优化仿真评价方法的建立;下篇介绍了北京地区的道路交通组织优化与仿真评价的应用实例。

本书可供交通控制与管理人员使用,也可供高等院校交通工程、交通运输类专业师生教学参考。

图书在版编目(CIP)数据

道路交通组织优化与仿真评价理论与方法/隋亚刚等
编著. —北京:人民交通出版社,2009.3

ISBN 978-7-114-07661-9

I. 道… II. 隋… III. ①公路运输—交通运输管理—最佳化②公路运输—交通运输管理—仿真—评价 IV. U491

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 033193 号

书 名:道路交通组织优化与仿真评价理论与方法

著 作 者:隋亚刚 郭 敏 吴建平

责任编辑:刘永超 黎小东

出版发行:人民交通出版社

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)59757969,59757973

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京交通印务实业公司

开 本:787×960 1/16

印 张:12

字 数:215 千

版 次:2009年3月 第1版

印 次:2009年3月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-07661-9

印 数:0001—2000 册

定 价:28.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

道路交通是一个复杂的大系统,涉及的内容非常广泛,如交通需求、交通规划、交通管理、交通控制、交通安全、交通环境影响等,并且各部分之间相互联系、相互影响。在我国,机动车、非机动车和行人混行是城市交通的显著特点,各种交通流在通过交叉口时相互干扰,冲突严重,通行效率下降,交通事故经常发生。

在已有的道路条件下,为了减少道路拥堵、提高交通安全性、减少环境影响,通过合理的交通组织渠化和信号配时优化,提高交叉口的通行能力和安全性,通过路网通行能力调查、交通流调查,进行合理的交通流线设计,结合交通流引导,均衡交通流分布,是改善局部和区域交通的主要技术和手段。然而,由于交通系统的复杂性,影响因素很多,通常会形成很多个组织、优化方案;而且,由于其复杂性,很难主观判断各方案的优缺点。利用道路交通组织方案仿真技术,可以定量分析各种交通组织方案的特点和效果,可以克服交通系统现场试验代价大、实施困难的缺点,从而节约成本、方便实施。

交通仿真是随着交通行为理论和计算机技术的发展而发展起来的一门新技术,它可以重现道路网上的交通现象;可以预测和分析各种交通规划、交通管理、交通控制和智能交通技术的效果和影响。交通仿真输出各种定量结果数据,使交通决策者能够在众多交通建设、改造方案中,通过定量数据分析(包括效率、安全、环境、经济等各方面)、综合评价,选取最佳方案。

交通仿真在国外发展的历史相对较长,交通仿真软件也较为成熟,同时具有相当的商业性和通用性。但由于西方发达国家与我国的道路交通运行环境不完全相同,使用国外开发的交通仿真软件,特别需要关注模型的适用性。最关键的是一定要结合本地数据,进行模型参数的标定和校验,否则,很难保证仿真结果的可靠性。同时,目前我国尚没有建立能够准确反映我国大城市复杂交通状态的因素集,也没有一套合适的利用仿真结果来评价我国交通管理和区域交通状态的综合评价指标体系,因此建立一套适合我国大中城市交通特性的交通状况综合评价指标体系和评价方法具有很大的现实意义。

本书分为三篇,共七章。上篇系统介绍城市道路交通组织优化的基本理论与方法;中篇介绍微观仿真模型的基本理论,微观交通仿真模型的特点,微观交通仿真模型选取的基本原则,微观交通仿真模型参数校验的原理、方法与主要参数,微观交通仿真的输入输出标准,道路交通组织方案优化评价的流程与标准格式,道路交通组织优化的主要评价指标选取与综合评价方法。本书最后一篇介绍了北京地区的一个道路交通组织优化与仿真评价的应用案例:北四环中关村一桥的道路交通组织优化与仿真评价。

本书包含了编者十多年来在微观交通仿真的研究和应用,交通工程、道路交通组织优化和交通状况仿真评价等方面的知识和经验。全书由隋亚刚、郭敏和吴建平编著。蒋冰蕾、宋延、杜怡曼、高联雄、孙姝婷、许薇、裴钟哲、李淑芬等参加了本书的撰写和整理工作。本书的编写得到了北京市科学技术委员会、北京市交通管理局、北京邮电大学和科进英华(北京)智能交通有限公司等单位的大力支持。书中论述的理论研究成果,特别是应用案例,主要参考了北京市科学技术委员会《道路交通组织方案仿真评估分析方法》项目的研究报告,在此表示感谢。

编 者

2008 年 11 月

目 录

上篇 道路交通组织优化的理论与方法

第1章 概论	3
1.1 城市道路交通的发展	3
1.2 城市道路交通的组织及优化	4
1.3 交通仿真	5
1.4 道路交通组织方案的仿真评价	6
1.5 国内外研究现状	12
第2章 道路交通组织优化	21
2.1 道路交通组织优化的必要性	21
2.2 道路交通组织优化的设计原则	22
2.3 常用的道路交通组织方法	23
2.4 道路交通组织优化方案设计思路	26
2.5 道路交通组织优化的基本原则	36
第3章 道路交通组织方案优化评价	47
3.1 评价对象选取原则	47
3.2 评价指标选取原则	48
3.3 常用交通组织方案评价指标体系分析	49
3.4 无信号交叉口交通组织方案优化评价指标分析	50
3.5 信号交叉口交通组织方案优化评价指标分析	59
3.6 道路路段交通组织方案优化评价指标分析	71
3.7 区域路网交通组织方案优化评价指标分析	79

中篇 道路交通组织优化方案的仿真评价理论与方法

第4章 交通仿真软件及模型参数校验	91
4.1 交通仿真软件	91
4.2 交通仿真软件的性能校验	108
第5章 道路交通组织方案仿真评价的基本框架与数据标准化	115
5.1 建立道路交通组织方案仿真评价工作流程的意义	115

5.2	道路交通组织方案仿真评价系统工作流程	115
5.3	交通仿真数据输入输出标准化	125
第6章	道路交通组织方案优化仿真评价方法建立	135
6.1	现有方案评价方法的比较	135
6.2	评价方法的选取	140

下篇 应用实例

第7章	应用实例分析——北京中关村一桥交通组织优化	151
7.1	背景情况	151
7.2	现状交通及存在问题	152
7.3	仿真模型校验	153
7.4	现状交通仿真	155
7.5	现状交通分析	157
7.6	优化方案设计和仿真	158
7.7	优化方案分析比选	172
7.8	评价结果分析	176
参考文献		178

上 篇

道路交通组织优化的理论与方法

第 1 章 概 论

1.1 城市道路的发展

随着机动车保有量的突飞猛进,中国的许多城市已进入快速机动化的“汽车时代”。以北京为例,2006 年年底,北京市常住人口 1 581 万人,流动人口 383.4 万人。2007 年 5 月 26 日,北京市机动车突破 300 万辆,每户平均拥有 0.68 辆机动车。

机动车保有量的突飞猛进,既给城市经济的繁荣带来新的机遇,也给城市造成交通拥堵、环境污染等。机动车快速道路拥堵日益严重,已成为社会关注的焦点和热点。

交通拥堵的代价是巨大的。2003 年调查显示多数北京人上班需花费 1h 以上的时间,其中,花费 60~80min 的占 34.30%,花费超过 100min 的占 6.50%,而在 20min 以内即可到达工作地的仅占 5.50%。北京市在早晚流量高峰期间,整个城区的道路基本处于拥堵状态,在一些路段,车辆的通行时速已降到 10km/h 以下,个别路段甚至降到 5km/h 以下,比步行速度还慢。据中国社科院数量经济与技术经济研究所 2004 年的测算,北京市因为堵车造成的社会成本损失一天是 4 000 万元,相当于每年 146 亿元,全国一年因交通拥堵造成的损失是 1 700 亿元。同时,拥堵使车辆运行速度下降,造成运输资源浪费和运输效率降低,并且给城市经济和社会发展带来巨大的损失。

机动车污染已经上升为我国城市大气和噪声的主要污染源,交通拥堵大大加剧了环境污染的程度。交通拥堵区域的汽车排出有害物质浓度比在正常行驶区域高出 5 倍到 6 倍,北京机动车排放的一氧化碳、碳氢化合物、

氮氧化物已占城市大气污染总量的 40% ~ 70%。因此,治理交通拥堵,也成为解决城市污染问题的主要环节。

当路网密度和城市用地发展到较为饱和的阶段时,科学的交通组织管理就成为治理交通拥堵、改善环境、解决城市交通问题最关键的手段之一。利用道路交通仿真等科技手段可以全面掌握现有道路交通状态,利用道路交通仿真输出的各种定量结果数据为交通管理决策提供科学的支持,将经验式管理逐步转化为科学化管理。

1.2 城市道路交通的组织及优化

道路交通组织优化随着车辆与道路交通而生。世界各地城市交通发展的长期实践与理论研究表明,道路工程设施的建设总是跟不上车辆的增长速度,现有的道路交通设施的效率总是有限的,因此迫使人们在交通系统发展到一定阶段时,将注意力从单一的设施建设更多地转移到充分利用现有道路和交通设施进行交通组织优化,提高交通管理水平上来。

通常道路交通组织,是指道路交通管理部门根据国家有关法律、法规,综合运用交通工程技术、法规限制、行政管理等措施,对道路上运行的交通流实施疏导、指挥和控制等工作。

道路交通组织的目的,在于充分发挥现有道路网的效能,合理地协调局部利益和整体利益之间的关系,提供适宜的运行条件,解决整个道路系统中交通流分布不均衡、流量和流向不合理等问题;最大限度地消除交通事故的隐患,改善交通秩序,组织优化交通流,实现道路的安全与畅通。即用现代化的管理方法和手段,按照道路的功能,合理地组织交通,调节和疏导交通流,使道路的交通量与道路通行能力相协调,充分发挥路网效能,以缓解交通矛盾。

道路路网的通行能力,既与道路空间有关,又与交通控制软件和硬件、道路使用方法、车辆运行组织和管理水平有关。因为不同的车流构成、不同车流方向比例以及不同的管理方式都会产生截然不同的服务效果;同等数量的交通量,按不同的分布模式会产生不同的交通状况。因此,对道路就有一个最佳使用问题。对交通管理部门来说,为了道路的最佳使用,就必须通过提高交叉口、交通节点的通行能力,利用多种综合管理措施和手段,对已有道路规定其使用方式,对各种车辆的运行进行流线组织、引导,达到均衡

交通流分布、充分发挥路网效能的目的。根据交通组织优化设计成果来管理和运营道路,将使道路资源得到更加均衡、合理地利用,避免道路资源的浪费,避免路段或节点道路资源缺少和造成拥堵。

1.3 交通仿真

1.3.1 交通仿真的相关概念

仿真就是真实世界的数学或逻辑的表示,在计算机上用软件执行的试验模式。常见的交通系统仿真软件包括:对道路几何,交通管理、控制措施,智能交通系统,机动车、自行车和行人的交通仿真;可以应用于交通规划方案、交通管理措施、交通控制优化、交通环境影响和交通安全的仿真评价。

按仿真模型对仿真对象的模拟详细程度,又可以将仿真模型分为以下三种类型。

1) 微观仿真模型

微观仿真模型对系统实体,如道路使用者(机动车、行人和自行车)的个体行为有高度详细的描述。微观仿真模型在描述道路使用者(如:车辆、驾驶员)的空间-时间行为的同时,也详尽描述了它们(个体间)的相互作用。如,对车流中的每辆车,车辆变道就是对驾驶员一连串决定的详尽描述。

2) 中观仿真模型

相对于宏观模型来说,中观模型对交通系统要素、实体运动和相互作用的细节描述程度要比宏观模型高得多。例如,中观交通仿真模型对交通流的描述往往以若干辆车构成的队列为单元,能够描述队列在路段和节点的流入和流出行为,就每辆车而言,车道变换被描述成建立在相关车道的实体基础上的瞬时决策事件,而非细致的车辆间相互作用。

3) 宏观模型

高集合级描述交通流,不区别其组成部分,用流量、密度和速度来整体描述交通流。通常不会明确地表述个体车辆的,跟车、变道等运行情况。宏观模型可以假设交通流在道路车道上适当被分配。

微观交通仿真,因为具有有效地再现各种实际交通状况的特点,在 ITS

研究及各种交通工程应用中越来越受到重视。由于 ITS 很多技术应用涉及动态交通现象,例如需要仿真由于交通事件引起的车流波现象,仿真驾驶员对动态交通诱导信息的响应行为,因此,宏观交通仿真已经不能满足 ITS 应用研究的需要。因此在 ITS 方案论证方面,多采用微观交通仿真进行仿真评价。微观交通仿真常应用于:固定信号控制、自适应控制、匝道汇入控制、静态路径诱导、动态路线诱导、事故影响分析、公交优先、可变标志牌、收费口、自动道路系统、无人驾驶车辆、停车诱导等系统的仿真评价。

1.3.2 交通仿真的优势

微观交通仿真系统克服了交通系统现场试验费用大,时间长,交通系统的临时改变易导致交通事故等缺点,为城市交通建设与研究提供了良好的试验平台,具有广阔的应用前景。总体而言,交通仿真有以下主要优点。

(1)不需要构建真实交通系统,在进行交通研究时更加经济、方便、安全。

(2)模拟尚不存在、计划中的交通规划、管理、控制和智能交通系统。

(3)在相同交通需求条件下,仿真比对不同交通组织方案的优缺点。

(4)改变时空交通要素或运行条件,预测交通状况。

(5)对危险、易产生灾难性后果的交通事件进行仿真,获得预测结果等。

1.4 道路交通组织方案的仿真评价

1.4.1 道路交通组织仿真评估分析的意义

由于城市空间有限,道路设施不可能无限制地增长。因此,采用现代化的管理方法和手段,科学地组织交通,调节疏导交通流量,充分发挥路网的效能,是缓解交通供给与需求矛盾的重要措施。

在既有的城市路网交通基础设施中,不同的车流构成,会产生不同的交通流运行状况。因此,不同的道路交通组织方式和管理水平会使路网产生不同的服务效果。为了最大限度地发挥路网的通行能力,交通管理部门有必要研究和评估各种交通组织模式的运营效果,从中选取最佳的交通组织方式并予以实施。

应用交通仿真技术对道路交通组织方案进行分析和评估具有直观、准确、灵活的特点,主要体现在以下几方面。

1) 节约成本、灵活方便

通过现场试验检验和评估道路交通组织方案,不仅需要投入大量的人力和物力,还可能承担由此造成的意想不到的事故和损失。利用交通仿真技术进行方案评估,可以通过对不同的方案设计进行仿真,进行公正比选,从而克服交通系统现场试验代价大、实施困难的缺点,为制订道路交通组织方案提供良好的试验平台。

2) 模拟规划中的交通现象

道路交通组织仿真,还可以模拟尚不存在的规划中的交通现象,例如对规划中的道路或者桥梁,可以通过仿真的手段模拟未来在这些交通设施上的交通流运行状况,对规划中的交通供给设施能否满足未来交通增长的需求进行科学的评估。

3) 解决复杂交通问题

道路交通组织仿真以构成交通系统的基本要素,如车辆、驾驶员、车道、信号灯等作为建模单元,可以模拟难以通过建立数学模型进行分析的复杂交通现象,从而解决许多复杂而无法用解析手段求解的问题。

4) 全方位的结果输出

时间扫描技术的应用,可以使道路交通组织仿真系统输出交通系统运行状态全过程的描述,不但可以输出各种用于评价的交通流运行状态指标,而且可以输出动态、直观的图片或影像,为决策者提供全方位的参考。

1.4.2 道路交通组织仿真评估的应用领域

道路交通组织仿真应用于城市交通规划与管理,可以有效预测规划设施的未來交通状况,充分挖掘现有交通设施的潜力,从而提高相关政府交通管理部门的科学管理水平。

道路交通组织仿真评估,不仅可以应用于对交通规划布局 and 交通设施配置方案的效果评价,还可以应用于评估预期的交通需求增长给路网带来的交通压力,应用于对公交优先政策和措施的事前评估和事后评价,应用于轨道交通建设效果的模拟和评估,应用于各种道路交通组织方案的分析和比选。

对政府的交通管理部门来说,道路交通组织仿真评估经常应用于以下几方面。

1) 路网交通组织优化

城市交通主管部门为了最大限度地发挥现有道路系统的性能,必须通过多种管理措施和手段,规定各类道路的使用方式,对各种车辆的运行进行优化组织。

进行道路交通组织优化有着很强的现实需求,不仅在日常工作中需要对路网上的交通管理措施不断地进行规划调整,而且经常需要进行像奥运会等大型活动的交通组织工作。因此,如何充分发挥现有路网的潜力,指挥重大集会期间交通流的集结、停放与疏散,维护行车秩序,保证行车安全,是关乎广大交通参与者切身利益的重要议题。

制订城市道路交通组织管理方案,首先要通过系统调查,对城市交通路网系统的现状进行分析,全面评价现有道路网的交通负荷、运行效率、安全状况等,分析其存在的主要问题;其次,要拟定交通组织方案需达到的各种定性、定量指标,为交通参与者提供一个良好的交通环境和较高的服务水平;第三,要划分各类道路的使用功能,以充分发挥各类道路在路网中的作用;第四,规划和调整路网上的交通管理措施,包括宏观和微观交通管理措施,并对调整后的道路服务水平进行评估。最后,拟定详细的路网交通管理设施设置计划。而道路交通组织仿真技术几乎可以应用于制订道路交通组织管理方案的全部过程中。

交通仿真技术应用于路网交通组织优化,具有十分突出的优点。它不仅是道路网交通流运行现状评估的有力工具,而且可以对应用的各种规划和调整方案后的路网服务水平进行评估,从而为交通组织优化方案的比选提供科学的判定依据。因此,交通仿真技术在道路交通组织优化领域有着广阔的应用前景。

2) 信号交叉口交通组织仿真

信号交叉口是城市路网中通行能力的限制节点,做好信号交叉口的交通组织对提高路网的通行能力具有十分重要的意义。依靠通常手段建立的交通管理措施或改善方案往往没有强有力的数据支持,缺乏对实施后效果的预测。运用交通仿真技术对设计方案进行模拟,并对仿真结果进行评价,将为方案比选提供科学的决策依据。

信号交叉口的交通组织可以采取的措施,包括微观交通管理措施的拟定,渠化交通组织方案的设计,交通信号配时方案的设计等。管理者不仅可以通过设置各种交通管理标志、标线来规定某些路段或路口,在某些时段、某个方向允许或禁止某类车辆的通行,而且可以采用绿化带、交通岛或者在道路上画线等方式来分隔车道,使各种不同行驶方向和不同速度的车辆,顺着规定的方向,互不干扰地行驶。同时,为了提高通行能力,保障交通安全、整治交通秩序,交管部门还需拟定合适的交通信号配时方案,以使现有交通设施的人和物的运输能力得到最高效率的发挥。应用道路交通组织仿真技术可以逼真地模拟各种实际采用的交通组织措施,并对其实施效果进行评估。

在实际工作中,以上这些措施的应用往往是独立进行的,甚至分别由不同的政府主管部门组织实施。事实上,各种交通组织措施是相互作用相互影响的,因此,不但需要关注单独采取某种措施的成效,而且对这些措施形成的各种组合方案的实施效果,也有必要进行评估。应用道路交通组织仿真技术可以更加全面地考察各种影响因素,从而充分地挖掘现有交通设施的潜力。

影响信号交叉口效能发挥的因素是众多而复杂的,利用解析手段建立的交叉口评估模型通常只能进行粗略的估算,一般可作为交叉口规划和设计的参考。而对于由各种交通组织方案所引起的微观交通行为的变更,往往难以通过建立数学模型求解。交通仿真技术从微观层面上对构成交通系统的基本单元进行模拟,利用现代计算机的强大处理能力,在短时间内对未来的交通状态进行预测,可以为决策者提供进行宏观评估决策所需要的各种指标和参考。

3) 无信号交叉口运行状况仿真

在无信号控制的交叉口上,主要道路的车辆优先通行,次要道路上的车辆,寻找机会穿越主要道路上车流的间隙,通过路口。

交通管理部门一般当交叉口发展到接近停车或让路标志交叉口所达到的处理能力时,才在这种交叉口上加设交通信号控制。交通信号灯设置得合理正确,可以降低车辆的停车延误,提高道路、交叉口通行能力。

采用交通仿真的手段,可以从微观层面上模拟车辆对各种道路条件和交通条件的反应,通过试验的方法,考察主要道路的双向交通量取用不同的数值时,次要道路最大可以通过的车辆数,从而为无信号交叉口的通行能力

确定提供科学的参考。同时,应用交通仿真技术模拟无信号交叉口的运行状态,可以直观地评估特定交叉口的运行效果,为交叉口是否设置信号控制装置提供决策依据。

4) 交通信号协调控制仿真

交通信号协调控制,包括干道交通信号协调控制和区域交通信号控制,也称线控制和现代面控制(简称面控)。线控制是面控制系统的一种简化形式,把一条干道上相邻的交通信号机联结起来,通过调整各信号机的绿信比和相互间的相位差,可以使被控制的干道上形成“绿波带”,车辆在行驶中减少遇到红灯的次数,从而提高干道的通行能力。

现代的面控制技术,是指对城市道路网某一区域内全部交叉口的信号周期、绿信比、相位差和设在道路上的各种可变标志进行集中统一控制。面控制通过设在道路上的车辆检测器连续采集流量、行驶速度和车道占有率等交通信息;中心处理机根据交通信息的变化,进行信号动态控制,一方面控制有关的终端信号机和可变标志以诱导车辆,另一方面通过通信系统,发布交通阻塞情报,诱导车辆避开阻塞地点。因此,面控制系统对疏导交通,提高道路通行能力,减少交通事故和环境污染有明显的效果。

通常人们采用数学运算的方法,计算线控制或面控制系统所需采用的控制参数,如信号周期、绿信比、相位差等。优选的标准一般采用被车流有效使用的绿灯时间与信号周期时间之比,以及一次绿灯期间通过停车线的标准车辆数等。在控制对象较少、交通组成较为简单时,这些算法可以提供较为理想的方案。然而,当需要控制覆盖大片区域的交通系统时,由于很难构造一个统一的交通模型,描述复杂的交通流运行状况,采用解析的方法计算控制策略将产生很大的偏差。

采用交通仿真的手段模拟车流在道路网上的运行状况,能够对不同控制策略控制下的车流运行参数——延误时间、停车率、燃油消耗量等做出可靠的估算,从而比较客观地评价不同交通控制策略的优劣,对比不同交通控制系统引入前后的效果。因此,道路交通组织仿真技术在交通信号协调控制领域有着广阔的应用前景。

5) 匝道控制系统仿真

在城市道路系统中,过大的交通需求或几何瓶颈的存在,常常引发持续