



工业和信息化部“十二五”规划教材
“十二五”国家重点图书出版规划项目

交通流理论

Traffic Flow Theory

● 张亚平 杨龙海 刘丽华 张绪宏 编著



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



工业和信息化部“十二五”规划教材
“十二五”国家重点图书出版规划项目

交通流理论

Traffic Flow Theory

● 张亚平 杨龙海 刘丽华 张绪宏 编著



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书为工业和信息化部“十二五”规划研究生教材。书中系统地介绍了交通流理论的诞生、发展及主要研究内容和有关基本概念、原理与方法,内容涉及交通流基本特性、交通参与者特性、交通流检测技术与方法、车辆跟驰理论、车道变换模型、交通排队理论、连续流模型、交通流宏观模型、交叉口交通模型、交通流仿真及其应用等。

本书可作为交通运输工程学科及相关专业的研究生教材,也可供交通规划、设计和管理等领域的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

交通流理论/张亚平等编著. —哈尔滨:

哈尔滨工业大学出版社,2016.9

ISBN 978-7-5603-5659-4

I. ①交… II. ①张… III. ①交通流 —
高等学校 — 教材 IV. ①U491.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 253937 号

策划编辑 王桂芝

责任编辑 李长波

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨市工大节能印刷厂

开 本 787mm×960mm 1/16 印张 15 字数 360 千字

版 次 2016 年 9 月第 1 版 2016 年 9 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-5659-4

定 价 38.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

交通流作为一门新兴的交叉性边缘学科,广泛应用于交通规划、交通管理、交通控制及交通工程设施设计等诸多领域。交通流理论研究旨在通过建立能够描述实际交通特性的交通流模型,揭示交通流随时间和空间变化的基本规律,加深人们对交通运输这一复杂巨系统确定性和不确定性辩证统一及多体系统远离平衡态时演化规律的认识,促进统计物理、流体力学、非线性动力学、应用数学、交通工程学等多学科的交叉融合与发展,更好地指导交通部门规划、设计和完善交通网络与交通控制系统。

本书全面系统地介绍了交通流理论的诞生、发展及其研究内容和基本概念、原理与方法,内容涉及交通流基本特性、交通参与者特性、交通流检测技术与方法、车辆跟驰理论、车道变换模型、交通排队理论、连续流模型、交通流宏观模型、交叉口交通模型、交通流仿真及其应用等,可作为交通运输工程学科及相关专业研究生教材,也可作为交通工程、交通运输、城市规划等专业领域技术人员的参考书。

作为工业和信息化部“十二五”规划教材,本书在申报和出版过程中,得到了有关部门领导和同仁的大力支持。全书共12章,由张亚平(哈尔滨工业大学)、杨龙海(哈尔滨工业大学)、刘丽华(河南城建学院)、张绪宏(黑龙江省公路工程造价管理总站)共同撰写。其中,张亚平撰写第1章、第5章、第7章和第8章,刘丽华撰写第2~4章和第6章,杨龙海撰写第9~12章,刘延晨、刘建荣、李斌、汪卓、崔跃鹏、郝斯琪、范琪等参与了部分章节的录入和校对工作。全书由张亚平统稿,张绪宏审校。哈尔滨工业大学陈洪仁教授、福州大学郑柯教授对本书进行了审定,在此一并表示感谢。

本书参阅了国内外大量有关文献,引用和理解上难免存在偏颇,敬请原著者见谅。

鉴于交通流理论研究尚在不断发展和完善之中,且撰写人员水平和手中资料有限,疏漏与不当之处恳请读者批评斧正。

作 者
2016年1月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 交通流理论的诞生及发展	1
1.2 交通流理论的研究内容	2
1.3 交通流理论体系及研究方法	4
1.4 交通流理论的发展方向	5
第2章 交通流基本特性	8
2.1 交通流参数及指标	8
2.2 交通流参数的统计分布	15
2.3 交通流特性参数关系	23
第3章 交通参与者特性	27
3.1 驾驶员的交通特性	27
3.2 骑车人交通特性	40
3.3 行人交通特性	43
第4章 交通流检测	47
4.1 车辆检测器	47
4.2 交通流调查方法	64
4.3 交通流检测发展趋势	68
第5章 车辆跟驰理论	71
5.1 车辆跟驰特性	71
5.2 线性跟驰模型	72
5.3 稳态流分析	78
5.4 跟驰模型研究综述	81
第6章 车道变换模型	92
6.1 车道变换行为	92
6.2 车道变换模型	102
6.3 车道变换行为对交通流的影响	108
6.4 车道变换模型研究综述	111

第7章 交通排队理论	115
7.1 排队系统	115
7.2 排队模型	117
7.3 排队理论的应用	126
第8章 连续流模型	129
8.1 连续流一般模型	129
8.2 连续流高阶模型	134
8.3 交通波模型	137
第9章 交通流宏观模型	147
9.1 交通流宏观模型综述	147
9.2 一般网络模型	150
9.3 双流理论	155
9.4 双流模型与网络交通模型	158
第10章 无信号交叉口交通模型	161
10.1 无信号交叉口交通流特性	161
10.2 无信号交叉口交通流分析理论基础	162
10.3 两路停车控制交叉口	169
10.4 四路停车控制交叉口	184
10.5 无信号交叉口通行能力估计的经验模型	185
第11章 信号交叉口交通模型	188
11.1 信号交叉口的交通特性	188
11.2 信号交叉口延误	192
11.3 稳态延误模型	193
11.4 时间依赖延误模型	197
11.5 上游信号的影响	202
11.6 感应控制和自适应信号控制	205
第12章 交通流仿真及其应用	214
12.1 交通流仿真概述	214
12.2 交通仿真软件简介	219
12.3 交通流仿真的应用	223
参考文献	228

第 1 章 绪 论

1.1 交通流理论的诞生及发展

20 世纪初,随着工业革命的加速,汽车工业的诞生和发展,车辆保有量不断增加,道路交通拥挤、交通阻塞现象日趋严重,因此交通工程学者开始重视对交通流理论的研究。交通流理论研究经历了初期阶段、快速发展阶段和稳步发展阶段。

20 世纪 30 年代到第二次世界大战结束是交通流理论发展的初期阶段。1933 年,金蔡首次论述了泊松(Poisson)分布应用于交通流分析的可能性,随后亚当斯于 1936 年发表了数值例题,标志着交通流理论的诞生。其后,格林希尔治(Greenshields)用概率论和数理统计的方法建立数学模型,用以描述交通流量和速度的线性关系。这一时期的交通流理论基本上是以概率论方法为主导。

交通流理论的快速发展阶段是第二次世界大战结束到 20 世纪 50 年代。这个时期随着发达国家公路里程的迅猛增长,道路交通流剧增,交通流中车辆的独立性越来越小,交通现象的随机性随之降低,各种新的交通模型纷纷涌现,车辆跟驰理论、交通排队理论、交通流体理论等经典的交通流理论应运而生。

1959 年在美国密歇根州沃伦市举行了首届交通流理论国际研讨会(International Symposium on Transporation and Traffic Theory, ISTTT),标志着交通流理论研究开始了一个全新的时期。自 1959 年起,ISTTT 会议大约每隔 3 年召开一次,2005 年以来每隔 2 年举行一次,目前已举办了 21 届,第 21 届 ISTTT 会议于 2015 年 8 月在日本神户举行。历届 ISTTT 会议召开时间、地点见表 1.1。

表 1.1 历届 ISTTT 会议召开时间、地点

1959, 1st	1962, 2nd	1965, 3rd	1968, 4th	1971, 5th	1974, 6th
Warren 美国 沃伦	London 英国 伦敦	New York 美国 纽约	Karlsruhe 德国 卡尔斯鲁厄	Berkeley 美国 伯克利	Sydney 澳大利亚 悉尼
1977, 7th	1981, 8th	1984, 9th	1987, 10th	1990, 11th	1993, 12th
Kyoto 日本 京都	Toronto 加拿大 多伦多	Delft 荷兰 代尔夫特	Cambridge 美国 坎布里奇	Yokohama 日本 横滨	Berkeley 美国 伯克利

续表 1.1

1996, 13th	1999, 14th	2002, 15th	2005, 16th	2007, 17th	2009, 18th
Lyon 法国 里昂	Jerusalem 巴勒斯坦 耶路撒冷	Adelaide 澳大利亚 阿德莱德	College Park 美国 帕克	London 英国 伦敦	Hong Kong 中国 香港
2011, 19th	2013, 20th	2015, 21th			
Berkeley 美国 伯克利	Noordwijk 荷兰 诺德	Kobe 日本 神户			

20 世纪 50 年代末期以后,交通流理论研究进入稳步发展阶段。1975 年,美国学者丹尼尔和马休发表了第一部交通流理论研究领域专著 *Traffic Flow Theory: A Monograph*,该书较全面系统地阐述了交通流理论的内容及其发展。1990 年,美国加州大学学者阿道夫·梅(Adolf D. May)出版了《交通流基础》(*Traffic Flow Fundamentals*),阐述了交通流基础理论与方法。1998 年,美国运输研究委员会出版了 *Traffic Flow Theory*,该书是 *Traffic Flow Theory: A Monograph* 的修订版。随着传统交通流理论的日益成熟和科学技术的不断发展,交通流理论研究内容也在逐步扩充和不断完善,并赋予现代交通流理论的内涵。其中国际影响力较大的是 1996~2002 年德国学者 Dirk Helbing 和 Boris S Kerner 提出的三相交通流理论,其理论核心是有别于经典的基于基本图的交通流理论将交通流划分为自由流和拥堵流两相的做法,借鉴物理学中相变的思想,提出“畅行相”“同步相”“堵塞相”三相概念来描述交通流状态,诠释高速公路上交通拥堵转捩的物理原理以及拥堵交通流的性质,其理论成果于 2009 年出版专著 *Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control: the Long Road to Three-phase Traffic Theory*。最新的交通流理论研究成果是 2014 年出版的 *An Introduction to Traffic Flow Theory*,该书全面介绍了交通流理论近些年的研究进展及其应用,列举了大量的应用实例,具有很高的实践参考价值。

1.2 交通流理论的研究内容

交通流理论研究内容可以划分成两大类:一是交通流的生成规律,即科学地预测并描述从城市土地利用到居民分布,从居民分布到出行需求,从而产生交通流这一过程;二是交通流的运行机理,即通过运用模型和模拟的方法揭示路网点、线、面的交通流特性及其相互联系。本书重点介绍交通流的运行机理,交通流的生成规律是交通规划理论的基础,该方面知识读者可参阅有关交通规划图书。

交通流理论涉及的范围非常广泛,其研究内容主要包括交通流特性、交通参与者特性、交通流检测技术与方法、车辆跟驰理论、车道变换模型、交通排队论、连续流模型、宏观交通流模型、交叉口交通模型、交通流仿真及其应用等。

1. 交通流特性 (Traffic Stream Characteristics)

交通流特性是交通流理论的基础内容,包括交通流参数及其评价指标、交通流的概率统计分布特性及交通流三参数之间的关系模型。

2. 交通参与者特性 (Traffic Participant Characteristics)

交通参与者主要指驾驶员、乘客和行人。交通参与者特性是指交通参与者在道路交通系统中的心理、生理和行为特征。

3. 交通流检测 (Traffic Detection)

交通流检测主要包括各种常用车辆感应器的安装和检测、定点调查、小距离调查、沿路段长度调查、浮动车调查和 ITS 区域调查等各项交通调查方法和技术。

4. 车辆跟驰理论 (Car Following Theory)

车辆跟驰理论是运用动力学方法研究车辆在无法超车的单一车道上行驶时,后车跟随前车的行驶状态,用数学模型表达且加以阐明的一种理论。其考察的对象是单一车辆在行驶过程中的相互关系,因此是一种微观分析方法。

5. 车道变换模型 (Driveway Transformation Models)

车道变换模型研究不同类型的车辆换道行为特性及其换道模型。车道变换模型和车辆跟驰模型是微观交通仿真两个最基本的动态模型,二者共同构成交通行为模型,用于描述人车单元的行为特性。

6. 交通排队论 (Traffic Queuing Theory)

交通排队论研究车辆等待时间、排队长度的概率分布,以便合理协调排队车辆与服务系统之间的关系,使之既能满足服务对象的要求,又能最大限度地节省服务系统的成本。

7. 连续流模型 (Continuous Flow Models)

连续流模型利用流体力学理论研究交通流三参数之间的定量关系,并根据流量守恒原理重点研究交通波理论。

8. 宏观交通流模型 (Macroscopic Flow Models)

宏观交通流模型在网络尺度上研究流量、速度和密度的关系,重点研究路网不同位置的交通流特性。

9. 交叉口理论 (Intersections Theory)

交叉口理论包括无信号和信号交叉口理论两部分。无信号交叉口理论主要利用数理统计、排队论和间隙接受理论研究无信号交叉口车流的可插车间隙和竞争车流之间的相互作用。信号交叉口理论主要研究信号交叉口对车流的阻滞理论,包括交通状态分析、稳态理论、定数理论和过渡函数曲线等。

10. 交通流仿真 (Traffic Simulation)

交通流仿真研究仿真技术在交通流特性分析中的应用,介绍交通仿真模型的种类和建模步骤及有关仿真软件。

上述内容是交通流理论的经典部分。广义来讲,交通流理论还包括交通影响模型、道路通行能力、交通流预测和交通分配等,感兴趣的读者可参阅该方面相关著作及有关参考文献。

1.3 交通流理论体系及研究方法

1.3.1 理论体系

交通流理论主要从时间和空间两个角度来认识交通流的量测尺度问题。交通流从时间和空间上均可以划分为宏观、中观和微观三种。

从时间角度,研究较短时间范围内的交通流规律定义为微观交通流理论;研究较长时间范围内的交通流规律定义为中观交通流理论;研究长时间范围内的交通流规律定义为宏观交通流理论。

从空间角度,研究某一点或断面的交通流特性定义为微观交通流理论;研究某一路段的交通流特性定义为中观交通流理论;研究某一路网的交通流特性定义为宏观交通流理论。

交通流理论体系见表 1.2。

表 1.2 交通流理论体系

空间 \ 时间	点	路段	路网
	短	中观	宏观
较长	微观	中观	宏观
长	中观	宏观	宏观

1.3.2 研究方法

按照对交通流细节描述的不同,一般把交通流模型分为三大类:基于自驱动理论的微观模型、基于空气动力学的中观模型和基于流体力学的宏观模型,其中宏观模型和微观模型较为常用。微观模型研究单个车辆在相互作用下的个体行为,主要包含跟驰模型和元胞自动机模型。宏观模型可以分为运动学模型、动力学模型和动力论模型。有学者认为,在宏观和微观方法之间,还存在一个能够把两者联系起来的中观方法,这就是基于概率描述的气体动力论模型。很多学者也将此法划归到微观方法。该方法有较好的理论基础,但所建立的方程包括很多待定参量和复杂关系式,相对连续模型、跟驰模型和元胞自动机模型而言,应用受到限制,发展较为迟缓。

交通流理论是一门实践性很强的学科,同时也是一门交叉性很强的学科。建立交通流模型的目的是为了解释交通现象和解决交通问题,因此交通流模型的建立不能脱离实际需要而追求形式上的完整和数学上的完善,应该充分注重模型结构设计和模型参数标定。不论是模型结构的建立还是模型参数的标定,简单和适用是第一原则。交通工程领域所应用的交通流模型,绝大多数都比较简单而且能解决实际问题。即便是推导过程比较复杂的模

型,其应用模型形式也比较简单,这样的形式有利于模型的推广。如著名的交通控制系统 TRANSYT, SCATS 和 SCOOT 中所应用的交通模型和参数优化模型都不是很复杂,但是适用,这些模型表现出了很强的生命力。

当然,推崇简单和适用并不等于拒绝复杂的交通流模型,实际上在研究复杂交通流现象时简单模型有时确实无能为力。例如,用于城市交通流诱导的实时动态交通分配模型,用于描述城市路网点、线、面交通流相互关系的模型等,很难用简单模型表述。随着计算机技术的发展,复杂交通流模型推广和应用的可能性越来越大。

此外,作为交通诱导和控制协同的基础,交通流量预测仍将是交通流理论研究的重点。早期的交通流量预测主要为交通控制系统服务。第一代城市交通控制系统 (Urban Traffic Control Systems, UTCS) 采用历史数据对交通流量进行离线预测;第二代 UTCS 应用实测数据对历史平均数据进行修正后再对交通流量进行预测;第三代 UTCS 只利用实测数据便可预测交通流量。从 20 世纪 60 年代开始,人们就开始把其他领域应用成熟的预测模型用于短时交通流预测领域,并开发了多种预测模型和方法。较早期的预测方法主要有自回归模型 (AR)、滑动平均模型 (MA)、自回归滑动平均模型 (ARMA)、历史平均模型 (HA) 和 Box - Cox 法等。随着该领域研究的逐渐深入,又出现了一批更复杂、精度更高的预测方法。大体来说,这些模型可分成五类:基于统计理论的模型 (历史平均模型、时间序列模型、非参数回归、卡尔曼滤波等)、基于智能理论的模型 (神经网络、支持向量机等)、基于非线性预测理论的模型 (小波分析、分形理论、突变理论、混沌理论等)、基于微观交通仿真的模型 (动态分配理论、元胞自动机等) 和混合模型方法 (传统统计与智能方法相结合、非线性与智能方法结合、智能方法组合等)。

1.4 交通流理论的发展方向

交通流理论的研究就是要构建能描述实际交通一般特性的交通流模型,以揭示控制交通流动的基本规律,从而为交通部门规划、设计和完善其交通网络与交通控制系统提供服务。

随着科学的进步,特别是计算机技术的发展,交通流理论的内容也在不断更新和充实。在传统交通流理论的基础上,出现了现代交通流理论。所谓现代交通流理论,就是利用计算机等现代化科学技术、理论和方法 (如人工智能、模糊控制等) 对交通流特性进行更深层的研究。与现代交通流理论相比,传统交通流理论已经基本趋于成熟,而现代交通流理论正在逐步发展。就目前的应用来看,传统的交通流理论仍居主导地位,其方法相对较容易实现。值得说明的是,现代交通流理论与传统交通流理论并不是彼此独立的,现代交通流理论以传统交通流理论为基础,只是其所应用的研究工具和手段与以前相比得到了很大改善,因而可以从更广阔的领域对交通流理论进行研究。总之,现代交通流理论方法与经典交通流理论方法相结合,将使交通流理论研究焕发勃勃生机。

近些年来,国际上交通流理论又有了新突破,一些新观念、新概念的提出,催生了交通管理和监控系统的开发与应用,其在交通流预测、交通流仿真等方面的突破,大大推动了交通流理论成果的应用发展。然而,尽管交通流理论在不断发展完善,但现有的交通流理论

体系还远未达到成熟,交通流理论研究仍有很长的路要走。

从研究内容看,宏观交通流理论是未来的研究重点。首先,目前我国的城市化水平还很低,随着城镇化建设步伐的加快,未来几十年内城市的急剧外延发展和内涵改造已成必然,这就需要对未来的城市进行科学的规划,需要探索新的城市交通规划理论,而宏观交通流理论是交通规划的基础理论,必须对其进行重点研究,尤其要研究城市土地利用对交通的生成、流量、流向的影响。其次,现代城市交通管理与控制的重点已经从微观管理(单个交叉口和路段的管理)转移到宏观管理(整个城市交通系统协调管理),需要开展路网可靠性、鲁棒性和脆弱性等交通流理论研究,揭示路网点、线、面交通流特性的相互联系及交通流状态的演化规律。

从研究手段来看,交通流理论研究正朝着智能化、数字化方向发展,尤其是随着大数据时代的到来,如何在交通流理论中开展大数据技术应用研究,是当前和未来交通流理论研究新的发展趋势。目前,我国不少城市建设已进入转型期,实施和谐、可持续发展的综合交通系统战略,建成与城市发展、土地开发、资源利用、经济增长及环境保护相协调,各种交通方式相衔接,各类交通设施发展相均衡,各种交通运输服务相配合,各个交通职能部门管理相统一的综合交通系统十分迫切。实施基于“互联网+”的交通运营智能化战略,站在“互联网+”风口上,把握大数据时代机遇,按照数据共享、服务共建原则,发挥政府数据、互联网企业技术、科研院所科研优势,依托百度交通云、阿里云平台,整合居民出行、交通运营及管理数据,完善城市道路交通监管、出行信息服务、应急救援、公交调度、物流监控等系统,进而驱动智能型综合交通运输体系建设,是当前城市发展的迫切需求。新的发展形势给交通流理论发展带来了新的机遇和挑战。交通流理论研究亟须现代理论方法与技术的支撑和引领,未来计算机网络技术、人工智能、神经网络、模糊控制、元胞自动机等理论和方法在交通流理论研究中的应用将越来越广泛。

此外,交通流理论近些年有关研究进展表明,未来的交通流理论将由普适性的基础理论向更加实用的交通流模型研究发展。

(1) 不同交通状态下交通流参数动态关系。对于传统的交通流模型,目前的研究大都集中于宏观模型、微观模型和其他交通流模型。然而,大多数研究只是通过数据散点来观察参数的变化趋势,难以解释速度-密度关系的变化趋势。

(2) 针对潮汐交通流的信号控制策略优化。目前研究主要是结合单点交叉口配时方法以及考虑受车辆排队影响的相位差算法,采用分段绿波控制方式,实现干线绿波协调控制系统。未来研究将结合 ITS 技术对道路运行状态进行分时段实时有效控制,形成特有的针对潮汐交通流的 ITS-干线绿波控制系统。

(3) 考虑极端天气情况下的交通流模型。越来越多的研究将气候因素考虑到传统交通流模型中,包括冰雪天气、强降雨天气等,结合极端天气情况下的交通流数据,对传统交通流模型进行修正,多采用增加模型参数或引入修正系数的方式,但对极端天气条件下交通流的动态影响缺乏深入研究。

(4) 考虑超车需求的交通流中观模型。目前主要是利用期望速度对 Prigogine-Herman 模型的超车概率公式进行改进,提出新的非线性超车概率公式,并建立相应的交通流中观模型,使得交通流中观模型更加符合实际,但对 Prigogine-Herman 模型中的瞬间加减速假设

还有待改进。

(5) 离散交通流模型的反馈线性化与拥堵控制。目前的研究主要通过离散交通流模型进行精确线性化,使原本难处理的非线性系统转化为线性系统,但在控制算法上仍有一定局限性。

事实证明,解决交通难题的根本出路在于发展交通科学技术及其基础理论。反之,若缺少正确的理论指导,则会造成有限资源的极大浪费。例如,在国内某些大城市,一些高标准的大型交通工程纷纷上马,交通拥挤问题不但没有解决,反而引起结构性的负效应。如北京市,近几年花了很大力气修建了多个快速环路和立交桥,但交通拥挤问题并没有多大改善。上海市政府近年来投入大量资金修建的高架道路,一定程度上缓解了交通压力,可是“大动脉畅通,微血管堵塞”现象仍然存在,许多交通瓶颈依然如故,高架路匝道“肠梗阻”的现象时有发生,交通事故发生率未见实质性下降,并且出现整体交通状况的改善导致局部交通状况恶化的问题。

与发达国家相比,我国大中城市的交通由于行人、非机动车和机动车混行所造成的交通复杂性,远比国外复杂得多。国外应用成熟的交通模型,往往不一定适合我国的交通实情。因此,结合国情深入研究我国城市交通现象和交通问题,是摆在我们面前亟待解决的重要课题,如何充分有效地利用有限的交通资源,挖掘现有交通设施潜力,如何以科学的理论来指导交通规划、控制和管理,以缓解失衡的交通供求关系,将成为未来很长一段时间交通流理论需要解决的问题。

第2章 交通流基本特性

2.1 交通流参数及指标

交通流参数分为宏观参数和微观参数。宏观参数用来描述交通流作为一个整体表现出来的特性,具体参数有交通量、速度和交通流密度等;微观参数用来描述交通流中彼此相关的车辆之间的运行特性,具体参数有车头间距和车头时距等。

2.1.1 交通量

1. 交通量的定义

交通量又称流量,是指一定时间段内,通过道路某一地点、某一断面或某一车道的交通实体数。

流量是一个随机数,不同时间、不同地点的交通量都不同,交通量随时间和空间而变化的现象称为交通量的时空分布特性。研究或观察交通量的变化规律,对于交通规划、交通管理、交通设施的规划、设计方案比较和经济分析及交通控制与安全均具有重要意义。

交通量时刻在变化,在表达方式上通常取某一时间段内的平均值作为该时间段的代表交通量。

(1) 日交通量。

如果以“辆每日”为单位,日平均交通量表达式为

$$ADT = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i \quad (2.1)$$

式中 Q_i ——各规定时间段内的日交通量,辆每日;

n ——各规定时间段的时间,日。

按平均值所取的时间段的长度计,常用的有:

① 年平均日交通量 (Annual Average Daily Traffic, AADT)

$$AADT = \frac{1}{365} \sum_{i=1}^{365} Q_i \quad (2.2)$$

② 月平均日交通量 (Monthly Average Daily Traffic, MADT)

$$MADT = \frac{\text{一个月的日交通量总和}}{\text{本月的天数}} \quad (2.3)$$

③ 周平均日交通量 (Weekly Average Daily Traffic, WADT)

$$WADT = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 Q_i \quad (2.4)$$

其中,年平均日交通量在城市道路规划与设计中的是一项极其重要的控制性指标,用作道路交通设施的规划、设计、管理等依据,其他平均交通量是供交通量统计分析、求各时段交通量变化系数,以便将各时段平均交通量进行相互换算之用。

(2) 小时交通量。

① 高峰小时交通量(Peak Hour)。交通量时变图一般呈马鞍形,上下午各有一个高峰。在交通量呈现高峰的那个小时,称为高峰小时,高峰小时内的交通量称为高峰小时交通量。

② 设计小时交通量(DDHV)。为保证道路规划期内满足绝大多数车流顺利通过,不造成严重阻塞,同时避免建成后车流量低,投资效益不高,造成资源浪费,选择适当的小时交通量作为道路规划设计的依据十分必要,这就是设计小时交通量。

一般选用第30位高峰小时交通量作为设计小时交通量是最合适的。所谓第30位小时交通量就是将一年中实测的8760个小时交通量,从大到小按序排列,排在第30位的那个小时交通量。

设计小时交通量与年平均日交通量的关系为

$$DDHV = AADT \times K \times D \quad (2.5)$$

式中 $DDHV$ ——设计小时交通量,辆每小时;

$AADT$ ——年平均日交通量,辆每日;

K ——高峰小时交通量占日交通量的比例,%;

D ——高峰小时内,交通量大的方向交通量占高峰小时交通量的比例,%。

(3) 交通流率。

交通流率(Traffic Flow Rate)是指通过道路某一断面,在不足1h时间段内测得的车辆数换算成的1h交通量。交通流率在研究短期交通流波动特性方面有重要意义。

高峰小时交通量与全天交通量之比称为高峰小时流率,它反映高峰小时交通量的集中程度,并可供高峰小时交通量与日交通量之间做相互换算之用。

在进行交通分析时,常将高峰小时划分为若干短时段以显示各个时段交通流的变化特征。一般在路段交通量特性分析时采用5min作为观测时段,在交叉口交通量分析时采用15min作为观测时段。高峰小时系数(PHF)指高峰小时交通量与扩大的最大高峰小时流率之比,其一般表达式为

$$PHF_t = \frac{\text{高峰小时交通量}}{[t \text{ 时段内统计所得最高交通量}] \cdot \frac{60}{t}} \quad (2.6)$$

2. 交通量的时间分布特性

(1) 月变化。

由于社会经济活动对交通的需求以及当地季节与气候的影响,同一道路一年中各月的交通量并不相同,呈现逐月变化的规律,通常用月变系数(或称月不均系数) M 表示为

$$M = \frac{AADT}{MADT} \quad (2.7)$$

图2.1是以月份为横坐标,以月变系数的倒数 $1/M$ 为纵坐标,绘制的一年内路段观测断面上的交通量变化曲线,这种曲线称为月交通量变化图。

(2) 周变化。

交通量的周变化是指一周内各天的交通量变化,因此也称日变化。对于一定的城市或某个路段,交通量的日变化存在一定规律。我国城市道路,一般各工作日的交通量变化不大,而在节假日(或休息日)则变化显著,交通量一般都要少一些,但在公路上一周内交通量变化比城市要小。交通量在每周的日变化以周变系数 D 表示:

$$D = \frac{AADT}{WDT} \quad (2.8)$$

式中 WDT ——全年某周内各天的平均日交通量。

图 2.2 是以每周的各日为横坐标,以周变系数的倒数 $1/D$ 为纵坐标,绘制的一周内路段观测断面上的交通量变化曲线,这种曲线称为周交通量变化图。

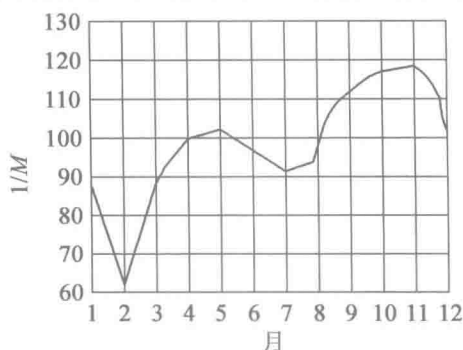


图 2.1 月交通量变化图

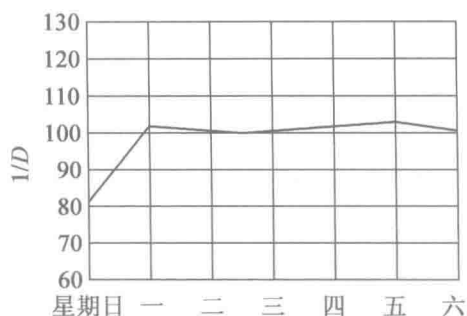


图 2.2 周交通量变化图

(3) 时变化。

一天 24 小时中,每个小时的交通量也在不断变化。表示各小时交通量变化的曲线,称为小时交通量变化图,如图 2.3 所示。

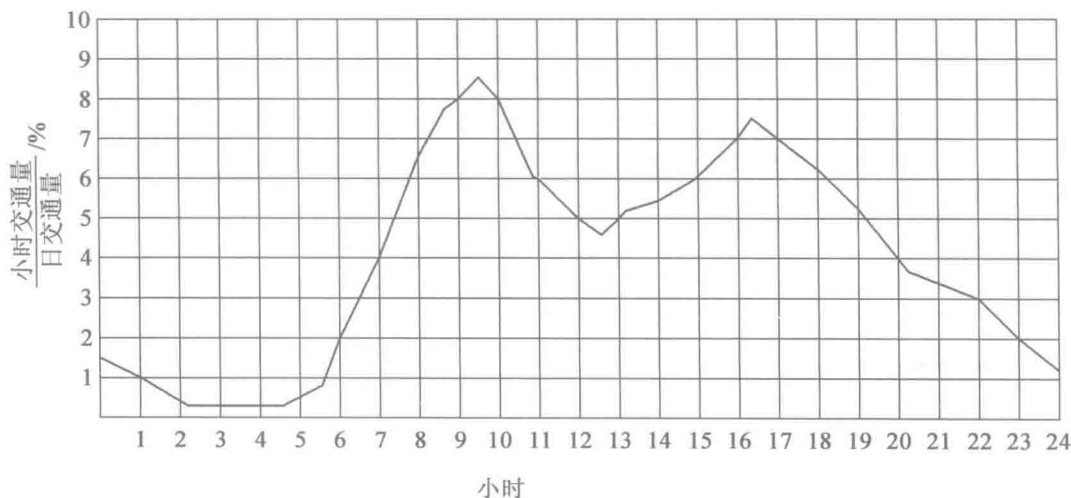


图 2.3 小时交通量变化图

3. 交通量的空间分布

交通量的大小与社会经济发展速度、人民文化生活水平、人口分布、气候、物产等多方面因素有关,它除了随时间而变化外还随空间的不同而变化。这种随空间位置而变化的特

性称为空间分布特性,一般是指同一时间或相似条件下,随城乡、地域、方向、车道等的差别而变化的情况。

(1)城乡分布。

由于城乡之间经济发展、生产活动、生产水平不平衡,造成城乡间交通量的差别,一般说来,城市道路的交通量大于农村的交通量,国道干线交通量大于县乡道道路交通量。

(2)区域分布。

由于路网上各路段的等级、功能、所处的区位不同,在同一时间内,路网上各路段的交通量有很大不同。一般用路网交通量分布图来表示交通量在各路段上的分布(图 2.4),从图上可以很明显地分辨出交通量区域分布的不均匀性。

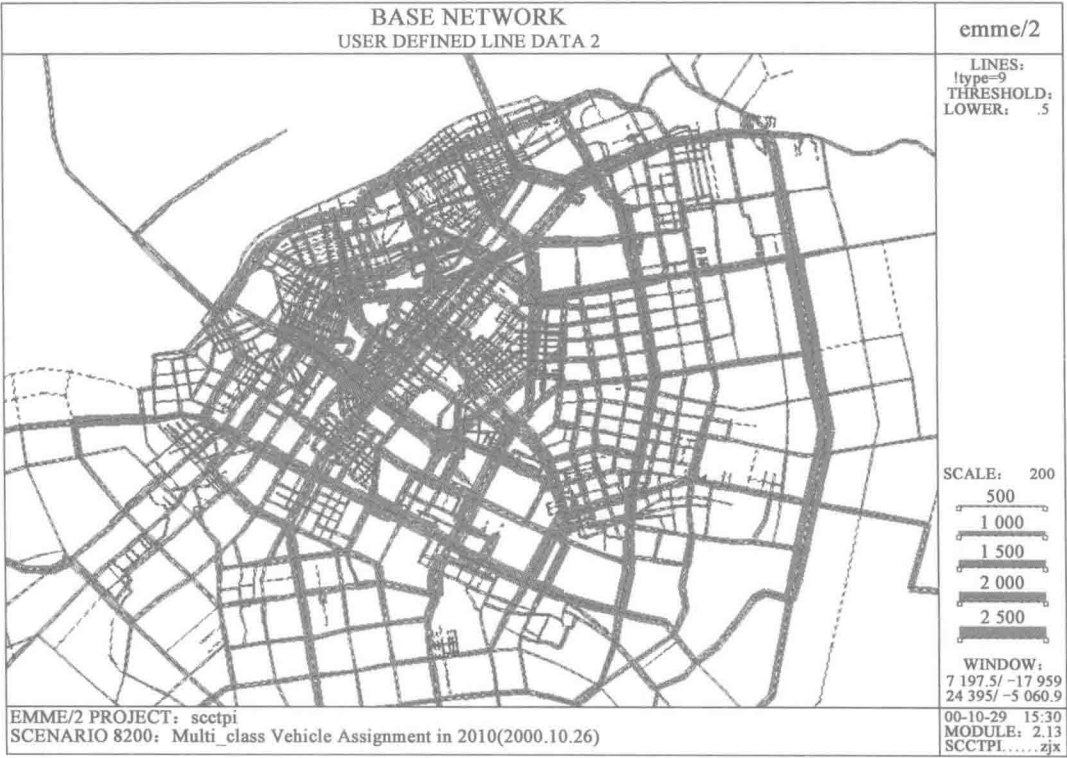


图 2.4 路网交通量分布

(3)方向分布。

道路往返两个方向上的交通量,在很长时间内可能是平衡的,但在某一时段内如一天中某几个小时,两个方向交通量会有较大不同。这种方向不平衡性常用方向分布系数 K_D 表示:

$$K_D = \frac{\text{主要行车方向交通量}}{\text{双向交通量}} \times 100\% \tag{2.9}$$

根据国外的数据,上下班路线 $K_D = 70\%$,主要干道 $K_D = 60\%$,市中心干道 $K_D = 50\%$ 。国内上下班路线也在 70% 左右,城市出入口道路高峰小时进、出城方向交通量占 $60\% \sim 70\%$,晚高峰时正好相反。