

国家自然科学基金项目 (51578111)
高等学校交通运输与工程类专业规划教材

交通流理论

TRAFFIC FLOW THEORY

姚荣涵 编著
王殿海 主审



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



国家自然科学基金项目(51578111)
高等学校交通运输与工程类专业规划教材

Traffic Flow Theory
交通流理论

姚荣涵 编 著
王殿海 主 审



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

内 容 提 要

本书秉持先进的高等教育教学理念,基于现代科技发展水平并结合当代大学生学习特点,强化交通调查和数据处理,吸收近年来国内外交通工程学者对交通流理论研究的先进成果和实践经验,系统全面、深入浅出地论述了交通流理论的基本概念、基础知识、基本原理、基本方法,涵盖了交通流理论的成熟体系与内容。

本书可作为交通工程、交通运输工程、交通管理专业及相近专业的本科生教材,也可作为交通信息工程及控制、交通运输规划与管理专业及相近专业的研究生教材,还可以作为相关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

交通流理论 / 姚荣涵编著. — 北京 : 人民交通出版社股份有限公司, 2019. 6

ISBN 978-7-114-15537-6

I. ①交… II. ①姚… 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(2019)第 093064 号

书 名: 交通流理论

著 者: 姚荣涵

责任编辑: 李 晴

责任校对: 刘 芹

责任印制: 张 凯

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.cpress.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: 中国电影出版社印刷厂

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 18.75

字 数: 458 千

版 次: 2019 年 6 月 第 1 版

印 次: 2019 年 6 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-15537-6

定 价: 48.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

序

交通系统是一种随机性和时变性都非常强的复杂巨系统,涉及人、车、路、环境与信息的交互。其中,人是主体,车、路、环境与信息是客体。主、客体的相互作用形成了统称为交通流的机动车流、非机动车流和行人流。交通流理论是研究交通系统运行机制的基本建模方法体系,具体描述交通参与者的行为特性和交通流的时空变化规律。

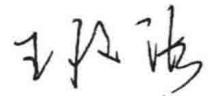
交通流理论为解决实际交通问题提供基本方法,其建模过程离不开交通调查和数据分析。随着科学技术的进步,交通调查仪器设备取得了长足的发展,并为交通流分析提供了多种数据来源。与此同时,数据分析技术得到了迅速发展,新方法、新技术、新手段层出不穷。根据自身的教学、科研经验,作者以通俗易懂的语言阐明了交通调查的重要性和基本原理以及交通流数据与交通调查的内在联系,为读者理解交通流理论开启了一扇门。

交通流理论具有非常强的理论性和实践性,涉及大量的微积分、概率论、数理统计、优化方法以及计算机程序设计等方面的基本知识。从认知角度,本书详略得当介绍了各种交通流模型的建模过程,并给出了各种交通流参数的物理含义及单位,在基础科学知识 with 交通工程专业知识之间搭建了很好的桥梁,有助于培养学生理论联系实际、举一反三、灵活运用的能力。针对交通流理论涉及的重要概念和术语,本书不仅给出了严谨的定义,而且给出了中英文对照和一义多词。

这一举措一方面有助于学生全面、深刻地理解交通流理论,另一方面为学生的后续学习和研究夯实了基础。

本书系统、全面地介绍了交通流理论的模型和方法体系,适合作为交通工程专业及相近专业的本科生和研究生教材,也可以作为相关技术人员的参考用书。

鉴于交通流理论的持续发展,希望本书能及时改版更新。



2018年12月

前言

交通流理论在交通运输工程学科中属于一门重要的专业基础课程,涉及丰富而复杂的研究对象、内容与方法。随着社会经济的发展以及科学技术的进步,交通流理论的内涵与外延不断地发生变化。作者根据十余年的教学与科研经验,系统地归纳和整理了有关交通流的比较成熟的理论与方法体系。

本着着重夯实理论基础以及强化交通调查和数据分析的教学思路,本书共分10章介绍交通流理论。第1章绪论,介绍交通流理论的发展历程、研究方法与内容、理论体系与发展趋势。第2章交通流特性,介绍交通调查方法、交通流参数及其统计分布和交通流参数的关系模型。第3章交通参与者行为特性,介绍驾驶员行为特性、骑车人行为特性和行人行为特性。第4章驾驶行为建模,介绍跟驰模型、换道模型和超车行为。第5章连续交通流模型,介绍守恒方程、动态模型、交通波理论、起动-停车波模型及其应用。第6章宏观交通流模型,介绍以CBD为中心的交通特性、一般网络模型、二流理论及其应用和网络交通模型。第7章交通影响模型,介绍交通与安全、燃油消耗、交通排放以及交通噪声。第8章无信号交叉口理论,介绍可插车间隙理论、二路停车控制交叉口、四路停车控制交叉口与经验方法。第9章信号交叉口理论,介绍信号交叉口交通特性、车辆到达-驶离图式、经典延误公式以及信号配时优化模型。第10章交通仿真,介绍VISSIM和MOVES的软件功能、参数标定与应用实例。

本书并未涵盖交通流理论的全部内容,只涉及各个研究分支的最基础、最易于入门的知识点。作为本科生和研究生教材,作者希望读者通过学习本书能够系统地认识并理解交通流及其理论与方法,并为后续的学习研究奠定坚实的基础。

为了促进语言和文化交流,本书对很多重要概念和术语提供了中英文对照,还提供了一义多词。希望此举有助于读者深刻理解研究对象及其含义。

由于作者水平有限,书中难免出现疏漏或错误之处,恳请读者提出宝贵的意见和建议。衷心希望本书能够为读者进入交通流理论研究领域起到抛砖引玉的作用。

姚荣涵

2018年12月

目录

第1章 绪论	1
1.1 发展历程	1
1.2 研究方法	4
1.3 研究内容	5
1.4 理论体系	7
1.5 发展趋势	8
复习思考题	10
第2章 交通流特性	11
2.1 交通调查方法	11
2.2 交通流参数	16
2.3 交通流参数的统计分布	21
2.4 交通流参数的关系模型	31
复习思考题	40
第3章 交通参与者行为特性	41
3.1 驾驶员行为特性	41
3.2 骑车人行为特性	59
3.3 行人行为特性	62
复习思考题	66
第4章 驾驶行为建模	67
4.1 跟驰模型	67
4.2 换道模型	82
4.3 超车行为	94
复习思考题	96

第 5 章 连续交通流模型	98
5.1 守恒方程	98
5.2 动态模型	103
5.3 交通波理论	105
5.4 起动-停车波模型	108
5.5 模型应用	124
复习思考题	132
第 6 章 宏观交通流模型	133
6.1 以 CBD 为中心的交通特性	133
6.2 一般网络模型	136
6.3 二流理论	142
6.4 二流理论应用	145
6.5 网络交通模型	164
复习思考题	166
第 7 章 交通影响模型	168
7.1 交通与安全	168
7.2 燃油消耗	172
7.3 交通排放	176
7.4 交通噪声	188
复习思考题	193
第 8 章 无信号交叉口理论	194
8.1 可插车间隙理论	194
8.2 二路停车控制交叉口	200
8.3 四路停车控制交叉口	214
8.4 经验方法	216
复习思考题	217
第 9 章 信号交叉口理论	219
9.1 信号交叉口交通特性	219
9.2 车辆到达-驶离图式	231
9.3 经典延误公式	241
9.4 信号配时优化模型	249
复习思考题	254
第 10 章 交通仿真	256
10.1 VISSIM 简介与应用	257
10.2 MOVES 简介与应用	273
复习思考题	283
参考文献	284
致谢	290

绪 论

交通流理论是研究交通参与者行为特性和交通流时空变化规律的模型和方法体系。该理论是交通工程学的基础,采用数学模型描述机动车、非机动车和行人与道路设施和环境交互运行的规律。多年来,交通流理论在交通运输工程学科的诸多研究领域被广泛应用,包括交通规划、交通管理与控制、交通工程设施设计、交通流诱导以及智能交通系统等。交通流理论是这些研究领域的基础理论。21 世纪以来,随着现代科学技术和智能运输系统的蓬勃发展,交通流理论所涉及的范围和内容在不断地发展和变化,诸如控制理论、人工智能等新兴科学的思想、方法和理论已被用于解决交通运输研究中遇到的复杂问题。尤其近十年来,随着计算机技术、移动互联网、云计算、大数据以及自动驾驶等新兴技术和产业的出现和发展,交通参与者的出行方式和体验正在发生着深刻变革,从而使得交通流的时空分布特征发生着前所未有的变化,新的模拟技术和方法层出不穷,并越来越多地被用来描述和分析交通流运行规律、揭示交通现象以及服务于政府管理与决策。本章简述交通流理论的发展历程、研究方法、研究内容、理论体系以及发展趋势。

1.1 发展 历 程

伴随着汽车工业、道路交通运输业和科学技术的发展,交通流理论产生并不断发展。在不

同时期、不同阶段,交通流理论的研究需求和技术背景也都不同,因此交通流理论存在不同的发展阶段。

依据时间顺序,交通流理论经历了4个发展阶段。

(1) 创始阶段

20世纪30年代至第二次世界大战结束这一时期被界定为交通流理论的创始阶段。在此期间,由于发达国家汽车工业和道路建设的发展,需要摸索道路交通的基本规律,以便对其进行科学管理,道路交通产生了对交通流理论的初步需求,需要有人对其进行研究。此阶段产生了代表性人物格林希尔治(Greenshields),其代表性成果是基于交通流调查数据,采用概率论和数理统计方法建立了描述交通流现象和规律的数学模型,即流量-速度-密度(简称流速密)关系模型。尽管这些成果在后人看来有诸多不足和局限性,但是属于开创性和奠基性的研究工作,所提的流速密关系揭示了交通流基本参数的内在相关性,在宏观、中观和微观交通流研究领域常常被视为理论基础。因此,人们普遍认可格林希尔治是交通流理论的鼻祖。

(2) 快速发展阶段

第二次世界大战结束至20世纪50年代末这一时期被界定为交通流理论的快速发展阶段。在此期间,发达国家的公路和城市道路里程迅猛增长,汽车拥有量大幅度上升,交通规划、管理与控制已经提上议事日程。如何科学地进行交通规划、管理与控制,需要交通流理论提供技术和方法支持。由于第二次世界大战结束,全世界进入休养生息状态,各个国家急需发展社会生产力,工业生产促使计算机诞生,汽车工业使得发达国家进入快速代步时代。社会经济的快速发展使交通流理论获得了高速发展,快速发展成为此阶段的显著特点,因而在学术上产生了多个研究分支和代表性人物。此阶段交通流理论的研究分支包括:车辆跟驰理论(Car Following Theory)、交通波理论(Traffic Wave Theory)、无信号交叉口理论(Unsignalized Intersection Theory)、排队论(Queuing Theory)等。此时涌现了一批代表性人物,包括沃德洛尔(Wardrop)、鲁契尔(Reuschel)、派普斯(Pipes)、莱特希尔(Lighthill)、惠特汉(Whitham)、纽厄尔(Newell)、韦伯斯特(Webster)、伊迪(Edie)、佛特(Foote)、张德勒(Chandler)、赫尔曼(Herman)等。

(3) 稳步发展阶段

20世纪50年代末至21世纪初这一时期被界定为交通流理论的稳步发展阶段。在此期间,汽车普及以至进入寻常百姓家,交通拥堵、环境污染成为世界各国大中城市面临的越来越严重的问题,交通流理论需要进一步发展来应对这些问题。现实需求和科技革命促使交通流理论稳步发展。1959年12月,首届国际交通流理论学术会议在美国密歇根州沃伦市的通用汽车研究实验室举办。该会议在2005年以前每三年召开一次,是交通流理论研究领域著名的国际会议,英文名称为International Symposium on Transportation and Traffic Theory (ISTTT)。自2005年起,ISTTT会议每两年召开一次。表1-1列出了历届ISTTT会议召开时间与地点。此外,近年来世界各国还举办了许多交通运输领域的专题学术年会,都涉及交通流理论专题。

历届 ISTTT 会议召开时间与地点

表 1-1

届次	年份	会议地点	届次	年份	会议地点
1	1959	美国沃伦(Warren, USA)	3	1965	美国纽约(New York, USA)
2	1962	英国伦敦(London, UK)	4	1968	德国卡尔斯鲁厄(Karlsruhe, Germany)

续上表

届次	年份	会议地点	届次	年份	会议地点
5	1971	美国伯克利 (Berkeley, USA)	15	2002	澳大利亚阿德莱德 (Adelaide, Australia)
6	1974	澳大利亚悉尼 (Sydney, Australia)	16	2005	美国帕克 (College Park, USA)
7	1977	日本京都 (Kyoto, Japan)	17	2007	英国伦敦 (London, UK)
8	1981	加拿大多伦多 (Toronto, Canada)	18	2009	中国香港 (Hong Kong, China)
9	1984	荷兰代尔夫特 (Delft, Netherlands)	19	2011	美国伯克利 (Berkeley, USA)
10	1987	美国波士顿 (Boston, USA)	20	2013	荷兰诺德韦克 (Noordwijk, Netherlands)
11	1990	日本横滨 (Yokohama, Japan)	21	2015	日本神户 (Kobe, Japan)
12	1993	美国伯克利 (Berkeley, USA)	22	2017	美国伊利诺伊 (Illinois, USA)
13	1996	法国里昂 (Lyon, France)	23	2019	瑞士洛桑 (Lausanne, Switzerland)
14	1999	以色列耶路撒冷 (Jerusalem, Israel)			

(4) 大数据阶段

21 世纪初以来,随着大数据、云计算、移动互联网、电子计算机技术等快速发展,人工智能和汽车工业也得到了迅猛发展,网约车技术已经基本成熟,共享自行车和共享汽车在很多城市投入使用,自动驾驶车辆和服务也即将进入应用阶段。数据和技术的融合正在使人类迈进“出行即服务”的时代。新技术、新服务正在不断改变着人们的出行行为,进而影响着交通流的时空特性,势必推动交通流理论不断发展,原有的模型和方法体系会不断被修正和完善,同时会不断产生新的模型和方法体系。这一时期可界定为大数据阶段。

按照研究手段和方法,交通流理论可以分为 3 类。

(1) 传统交通流理论

前两个阶段形成的交通流理论可称为传统交通流理论,即采用数理统计和微积分等传统数学和物理方法为基础的交通流理论。其显著特征在于交通流模型的限制条件比较苛刻、推导过程比较严谨、具有明确的物理意义,例如交通流参数的统计分布模型、车辆跟驰模型、交通波模型、车辆排队模型等。虽然传统交通流理论对真实交通过程和现象的描述有诸多不尽人意的地方,但因具有基础性和奠定性使其在目前的交通流理论体系中仍居主导地位,并且应用相对成熟。

(2) 现代交通流理论

第 3 个阶段形成的交通流理论可称为现代交通流理论,即利用诸如模拟技术、神经网络、模糊控制等现代科学技术和方法为主要研究手段的交通流理论。其显著特征在于所采用的模型和方法不追求严格意义上的数学推导和明确的物理意义,而是重点关注模型或方法对真实交通流的拟合效果。此类模型主要用于模拟、解释和预测复杂交通过程和现象,实现这些目的对于传统交通流理论来说显得举步维艰。

(3) 后现代交通流理论

随着大数据时代的到来,“出行即服务”已经使得“交通”不仅仅是社会经济活动中的“纽带”,而是成为一种服务体验的载体。人们对出行服务的质量和交通系统的品质不断提出更

高的要求。交通参与者使用大数据时代的服务智能地规划自己的出行路径,同时不断地向交通系统贡献着海量数据,这种反馈机制很好地诠释了“出行即服务”。大数据技术可以分析交通流现象和规律,但很难找寻到背后的因果关系,而小数据分析恰恰能够找到不同因素之间的因果关系。因此,可以预见后现代交通流理论将依托大数据技术和小数据分析,以“出行即服务”为核心理念来揭示交通流在复杂的时空、社交、经济等网络中的运行过程与规律,并服务于政府、企业的管理与决策。

显然,传统交通流理论、现代交通流理论和后现代交通流理论并不是截然分开的,只是所采用的主要研究手段有所区别,在研究不同问题时各有优劣。在实际研究中,常常需要综合运用,以便取得更佳的效果。

1.2 研究方法

从大类上来说,研究交通流理论的方法无外乎两种,即解析法和模拟法。从数学建模角度精确地表达各个交通流参数关系的方法称为解析法。由此建立的交通流模型可能是线性方程、非线性方程、常微分方程、偏微分方程等。此类模型以高等数学、概率与统计、线性代数等数学知识为理论基础。利用智能算法通过计算机模拟交通流演化规律的方法称为模拟法。由此建立的交通流模型通常没有解析解,只是表达交通流参数的粗略关系或者描述交通流演化的一般规则。此类模型使用的典型方法包括神经网络、遗传算法、粒子群算法、元胞自动机、机器学习、深度学习等。

(1) 解析法

在道路交通系统中,交通流不仅随着时间、空间发生变化,而且随着各种随机因素发生变化,其变化规律非常复杂。因此,真实的交通流状态函数是一个以时间、空间以及各种随机因素为自变量的高维、非线性的随机函数。相应地,真实交通流状态的描述模型应具备5个特点:①微分方程;②与时间和空间有关;③非线性;④随机性;⑤无穷维。事实上,时间和空间可以无限分割,而随机因素又很难预测,这导致交通流状态在不同时间和空间下很难相同,换句话说,精确的交通流规律难以找到。可见,具备以上5个特点的真实交通流模型实际上是无法建立的,即便能够建立这样的模型,也会因为条件苛刻和求解复杂而使其丧失实际意义。

通常,实际研究中可以认为交通流随时间在一维空间上发生变化。那么,一定程度上真实交通流模型可以简化为一个以时间或空间为自变量的线性或非线性函数。人们根据实际需要建立的抽象模型经常是一个有穷维、时不变、确定性、线性的实用模型,其抽象程度取决于解决实际问题的主要目的。例如,格林希尔治认为速度和密度呈线性关系,由此建立了著名的格林希尔治速度-密度线性模型。实际数据的检验结果证明,在正常的交通流状态(即密度值在合适范围内)下,速度与密度之间的确存在线性关系,确实可以由格林希尔治速度-密度线性模型来表达。然而,当交通流处于自由流状态或拥挤状态(即密度值过小或过大)时,格林希尔治速度-密度线性模型对实际数据的拟合效果显著变差,此时安德伍德速度-密度指数模型或格林伯速度-密度对数模型能够很好地拟合实际数据,成功地解决了格林希尔治速度-密度线性模型不适用的问题。

交通流理论具有很强的实践性,交通流建模是为了解释交通现象、揭示交通规律以及解决交通问题。因此,构造的交通流模型不应脱离实际而仅仅追求形式上或数学上的完美。在交通流建模过程中,应该充分重视模型结构和参数标定两大环节。对于第一个环节,重点研究设计什么结构的模型才能很好地描述所关注的交通流现象,其关键在于识别系统特征以便充分认识研究对象。这种认识越深刻,所建立的模型就越符合实际情况。对于第二个环节,重点研究如何确定模型中的参数以便模型能够得以具体应用,参数标定是一项非常具体、细致的工作,参数值的准确与否直接决定了模型应用效果的好坏。

无论模型结构还是参数标定,都应以简单和适用为第一原则。纵观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够解决实际问题,即便是推导过程比较复杂的模型,在实际应用时其形式也比较简单,这种简化形式有利于模型推广与使用。例如,有名的信号控制系统 TRANSYT、SCATS 和 SCOOT 应用的交通模型和参数优化过程都比较简单,目前为止始终表现出很强的生命力。相反,有些交通流模型尽管可以解释某些交通流现象,但是因结构复杂和应用条件苛刻而很难被接受,从而丧失了生命力或难以应用于工程实践。

(2) 模拟法

当然,推崇简单和适用并不等于拒绝复杂的交通流模型。事实上,当研究复杂的交通流现象时,简单的模型确实往往力不从心。例如,城市交通流诱导时采用的实时动态交通分配模型,以及城市路网点、线、面交通流相互作用的关系模型等,很难由简单模型来表述。

近年来,随着计算机技术的发展,软、硬件条件一直在不断地改善,交通工程技术人员的专业素质和非专业素质也在不断地提高,推广、应用或开发复杂交通流模型的可能性越来越大,人工智能、控制理论等方法 and 手段在交通监控中的应用已经证实了这一点。譬如,VISSIM 的 COM 接口或 API 接口为软件的二次开发创造了有利条件,有助于研究人员更加灵活、深入地分析各种交通管制措施或手段引起的交通流现象的背后规律,从而创建复杂的交通流模型用以解释复杂的交通流现象。

伴随着自动驾驶技术、共享汽车或共享自行车、电动汽车等的出现,采用模拟法描述各种复杂的交通流现象、揭示各种复杂的交通流规律越来越得到重视,这种模拟法的应用越来越深入且宽广。

分析近些年的研究现状和动态,可以发现解析法和模拟法相结合用于描述网络交通流现象与规律也是一种趋势,逐渐形成一种常态化研究手段。

1.3 研究内容

自诞生之日起,交通流理论的研究内容就随着科技进步一直在不断地扩充与丰富。众多学者从不同角度对交通流理论进行了不同的界定。尽管各种表述存在差异,但是其基本内涵相同。通过归纳与总结已有的相关研究成果,可以给出如下定义:

交通流理论是在一定的经济、地理、管制等环境下,对交通流随时间、空间及随机因素的变化规律建立的模型和方法体系。

由于交通流理论涉及范围极其广泛,其研究内容很难一言以蔽之。通过梳理已有的专业

书籍、文献及期刊资料,可将交通流理论研究内容分为以下9部分。

(1) 交通流特性

交通流特性(Traffic Stream Characteristics)探讨描述交通流特征的各种参数的调查方法、统计分布及其相互关系。这些参数包括流量、速度、密度、占有率、车头时距、延误等,其中流量、速度、密度(或密集度)被称为交通流三参数。各参数的调查方法是描述交通流特性的前提条件,各参数的统计分布与关系模型是描述交通流特性的核心内容。

(2) 交通参与者行为特性

交通参与者行为特性(Human Factors)分析各类交通参与者在复杂的人、车、路、环境中对交通标志、标线、控制设备、诱导信息等做出识别、反应、响应的行为特性。这些参与者包括驾驶员、乘客、骑车人和行人。这里的环境不仅仅是指与交通流相关的自然、地理、交通管制等,还包括社会、经济、人文以及历史的和实时的各种信息。

(3) 驾驶行为建模

驾驶行为建模(Driving Behavior Models)以驾驶员视角描述机动车辆在交通流中行驶时发生的跟驰(Car Following)、换道(Lane Changing)、超车(Overtaking)等行为与现象。车辆跟驰(或跟车)模型揭示单车道、不可超车条件下后车(或跟驰车)紧跟前车(或前导车)的行驶特性。车辆换道模型解释多车道、可超车条件下受试车(辆)为追求更高车速或实现出行计划换道至相邻车道的行驶特性。车辆超车模型表达多车道、可连续超车条件下,后车借助相邻车道经连续两次换道后到达前车前方的行驶特性。除此之外,驾驶行为建模还探讨交通流的稳定性以及加速度干扰等。

(4) 连续交通流模型

连续交通流模型(Continuous Flow Models)根据流体力学将交通流描述为连续流,并建立交通流三参数之间的各种定量关系,还依据流量守恒原则揭示交通流从一种状态变化到另一种状态时产生的冲击波现象。一般来说,高速公路上的交通流可以被看作连续流,城市道路中相距很远(通常认为不少于800m或1000m)的交叉口间路段上的交通流也可近似为连续流。描述冲击波现象的理论被称为交通波理论。

(5) 宏观交通流模型

宏观交通流模型(Macroscopic Flow Models)从宏观角度(即路网层面)研究流量、速度和密度(或占有率)之间的定量关系,重点分析以城市中心为参考的路网中不同位置的交通流特性。

(6) 交通影响模型

交通影响模型(Traffic Impact Models)探讨不同交通管制条件下交通流运行对周边环境造成的影响,包括交通安全、燃油消耗、废气、空气污染、噪声等。不同的模型从宏观或微观角度描述交通流运行对出行环境带来的不利影响。

(7) 无信号交叉口理论

无信号交叉口理论(Unsignalized Intersection Theory)利用数理统计和排队论分析无信号交叉口单股或多股车流的可插车间隙以及互相冲突的竞争车流之间的相互作用。该理论面向优先权控制交叉口讨论交通流特性,间隙理论是其理论基础。

(8) 信号交叉口理论

信号交叉口理论(Theory for Signalized Intersections)探讨交通信号对交通流造成的阻滞作

用,其内容包括车辆到达-驶离规律、交通状态分析、稳态理论、定数理论、过渡函数曲线、交通流运行性能评价等。设置交通信号是在时空上有效分离交通冲突的一种措施。近些年,随着机动车保有量的不断攀升,许多大中城市,甚至小城市都在不断地新增信号控制交叉口。交通问题的日益突出使得信号交叉口理论的研究深度和广度持续扩张。伴随自动驾驶、共享汽车、网约车等的发展,城市交通流特性的相关研究成果都可以纳入信号交叉口理论的研究范畴。

(9) 交通仿真

交通流在道路网中的运行规律极其复杂,其特征具有很强的时变性、随机性和非线性。为了解决各种交通问题、预判各种交通管制措施的效果,应用计算机技术的交通仿真技术应运而生。交通仿真或模拟(Traffic Simulation)研究各种计算机模拟技术在交通流分析、交通现象再现、交通运行性能评估等方面的应用,并介绍交通仿真模型的种类和建模步骤。越来越多的优秀软件为研究人员或技术人员提供了高效、可靠的仿真平台,用以评测设计方案、研究算法或管制措施等。

上述9个方面内容是交通流理论的经典部分,并不能涵盖其全部内容。随着时代发展和科技进步,不仅以上内容的深度和广度在持续增加,而且也有新的分支在不断渗入。

1.4 理论体系

目前,国内外影响较大的有关交通流理论的专著大约有十余种,这些文献的内容和结构大同小异。有的文献将交通流理论分为微观交通流理论和宏观交通流理论两大体系,有的文献将交通流理论分为微观交通流理论、中观交通流理论和宏观交通流理论三大体系。后者在微观和宏观之间增加了中观尺度,而前者往往将中观的研究纳入宏观体系。微观、中观和宏观都属于人们观察交通流的物理尺度。微观交通流理论研究个别车辆的交通特性,关注每辆车每时每刻所处的空间位置、速度、加速度、尾气排放等以及相邻车辆的车头时距、车头间距等。中观交通流理论研究包含多辆车的一列车队的交通特性,关注车队的平均速度、密度、流量等以及随机干扰在车队中的传播效应。宏观交通流理论以路网交通流为研究对象,关注网络通行能力、平均流量、平均速度、平均密度等。

如前所述,交通流随着时间、空间及各种因素随机发生变化。时间和空间是观察交通流变化规律的两个重要维度。如果对这两个维度都考虑3种水平,可将时间划分为较短、中等和较长,可将空间划分为点、线和面或者交叉口、路段和路网。从空间角度,微观交通流理论探讨某一点、某一断面或某一交叉口的交通流特性,中观交通流理论探讨某一路段的交通流特性,宏观交通流理论探讨整个路网的交通流特性。从时间角度,微观交通流理论研究较短时间间隔内的交通流变化规律,中观交通流理论研究中等时间间隔内的交通流变化规律,宏观交通流理论研究较长时间间隔内的交通流变化规律。

依据交通流理论的定义,从时间和空间两个维度一起考虑交通流理论体系的划分更加科学。若研究的时间间隔较短且空间范围较小,这样的交通流理论称为微观交通流理论;若研究的时间间隔较长或空间范围较大,这样的交通流理论称为宏观交通流理论;其余的交通流理论称为中观交通流理论。交通流理论体系划分见表1-2。

交通流理论体系划分

表 1-2

时间 \ 空间	点(交叉口)	线(路段)	面(路网)
	较短	微观	中观
中等	中观	中观	宏观
较长	宏观	宏观	宏观

从某种意义上来说,交通流理论的研究内容可划分为两大类:其一是交通流的生成规律,其二是交通流的运行机理。交通流的生成规律需要应用宏观交通流理论,并按照“土地利用→交通生成→交通分布→方式划分→交通分配”这一思路科学地预测交通流的产生。交通流的运行机理需要应用微观交通流理论,对机动车、非机动车和行人的行为特性进行模拟,进而揭示交叉口、路段和路网的交通流特性及其相关关系。针对具体的交通问题,可能应用中观交通流理论分析交通流的生成规律或运行机理。

1.5 发展趋势

任何理论都有其发展的客观需求和客观环境,交通流理论也是如此。交通运输工程的内在需求和科学技术的发展水平是推动交通流理论发展的两大重要因素。交通运输工程的内在需求是交通流理论发展的客观需求,科学技术的发展水平是交通流理论发展的客观环境。

在遥远的马车时代,无所谓交通流,也无所谓交通拥堵。伴随着工业革命的进程,汽车诞生并成为一种交通工具。汽车在道路上行驶使得交通流产生,在道路交叉处出现了交通冲突,车辆数的增多导致交通拥堵发生。为了解决交通流运行过程中存在的各种问题,人们需要研究交通流的模型与方法,因而交通流理论产生。应该说,内在需求是交通流理论发展的原动力,没有汽车工业的发展就不会有交通流理论的产生,没有交通冲突、拥堵和事故就不会有交通管理与控制理论的发展,没有更高的出行需求和管理需求自然不会有智能运输系统的出现,没有智能运输系统的发展也不会产生对实时动态交通分配理论的强烈需求。

另一方面,科学技术为交通流理论的发展和应用创造了必要条件。在计算机诞生之前,一些复杂的模型无法求解,一些复杂的计算也无法实现,这使得一些交通流模型无法应用于实际。换句话说,如果没有计算机,大规模的数据处理和复杂模型的计算将举步维艰。因此,计算机的发展为交通流理论的发展和应用提供了有力的保障,也为交通流理论的发展提供了新的思维空间。在过去的半个多世纪,由于计算机的出现,人们创造并发展了交通仿真技术;由于计算机的存在,人们采用人工智能、神经网络、机器学习等方法认识复杂的交通现象并解决复杂的交通问题。科技进步不仅带来了计算机技术,而且带来了先进的检测技术、通信技术、控制技术和卫星定位技术,这些技术不断地被应用到交通运输工程领域,为交通流理论的发展提供了广阔的思维空间和强劲的技术保障。

在交通流理论中,“数据”是在交通流特性分析、数学建模、参数标定、模型评价等方面贯穿始终的一个关键要素。“交通流理论”涉及交通流参数的基本概念、统计分布与关系模型以及描述各种交通现象的理论、模型与方法,还涉及交通流数据的获取方法与采集设备以及模拟