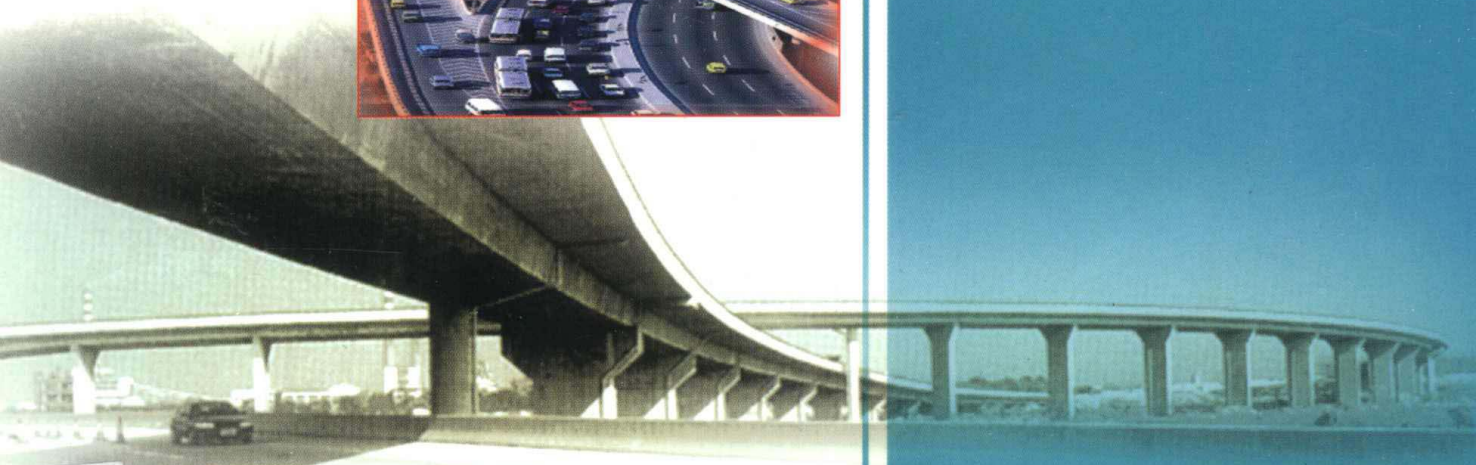




高等学校教材

交通流理论

王殿海 主编
严宝杰 主审



人民交通出版社
China Communications Press

85 8

U491.1-43
U31

高等学校教材

Jiaotongliu lilun

交通流理论

王殿海 主编
严宝立 主审



A1052384

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为面向 21 世纪交通版高等学校教材,全书采用近年来国内外交通工程学者对交通流理论研究的成果和实践经验,对交通流理论的基础理论、基础知识、基本方法进行系统而深入的论述,涵盖了交通流理论中较成熟的理论和方法体系。

本书可作为交通工程、交通运输、道路交通管理、城市规划专业的本科生和研究生教材,也可作为有关工程技术人员参考书。

图书在版编目 (C I P) 数据

交通流理论/王殿海主编. —北京:人民交通出版社,
2002.8
ISBN 7-114-04327-9

I. 交... II. 王... III. 交通流 IV. U491.1

中国版本图书馆CIP数据核字 (2002) 第040875号

高等学校教材

交通流理论

王殿海 主编

严宝杰 主审

正文设计:彭小秋 责任校对:尹静 责任印制:张恺

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京平谷大华山印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:10.25 字数:238千

2002年9月 第1版

2002年9月 第1版 第1次印刷

印数:0001-4000册 定价:21.00元

ISBN7-114-04327-9
U·03180

前 言

《交通流理论》是交通运输工程学科最重要的专业基础课程之一。近 20 年来,本学科领域的广大同仁们不断地将交通流理论溶入到各门专业课程之中,以满足理论上的需要。尤其是老一辈交通工程学者在对现代交通工程知识的引进、吸收和应用过程中,积累了相当数量的交通流理论知识,并有相关的译著和教材出版。遗憾的是到目前为止我国还没有一本自己的《交通流理论》教材,来系统地归纳和整理交通流理论知识,使之适合本学科领域教学之用。

感谢人民交通出版社组织这次教材编写活动,使得编者有机会来做这项工作。编者结合教学和科研经验,收集和整理了国内外有关资料,在前人工作的基础上,组织编写了这部教材。本教材也可以作为相关学科研究生教学和有关工程技术人员的参考书。

应该说本教材并未包括交通流理论的全部内容,仅涉及其中比较成熟的理论和方法体系,且根据内容难度作了适当的取舍。全书共分九章,第一章、第六章由王殿海编写,第二章由张海霞编写,第三章、第七章由栗红强编写,第四章由杨少辉编写,第五章由陈永恒编写,第八章由赵志宏编写,第九章由景春光编写。全书由吉林大学王殿海教授统稿并主编,由长安大学严宝杰教授主审。

本教材中涉及到大量数理统计和运筹学的知识以及交通工程学的基本概念,因此,建议本课程在学生具备这些基础知识之后开设。

交通流理论涉及内容广泛、复杂,加之编者水平有限,可能对某些内容理解有偏颇,错误之处在所难免,诚望读者提出宝贵意见。

编 者

2002 年 2 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 交通流理论的沿革	1
第二节 交通流理论研究的内容	2
第三节 交通流理论的理论体系	3
第四节 交通流理论研究的思想方法	4
第五节 交通流理论的发展趋势	5
第二章 交通流特性	7
第一节 交通调查	7
第二节 交通流参数	9
第三节 交通流参数的统计分布	13
第四节 交通流基本参数的关系模型	19
第五节 小结	27
第三章 驾驶员的交通特性	28
第一节 驾驶任务	28
第二节 离散驾驶行为	29
第三节 连续驾驶模型	38
第四节 驾驶员交通特性的应用	41
第五节 小结	45
第四章 跟驰理论与加速度干扰	46
第一节 线性跟驰模型的建立	46
第二节 稳定性分析	48
第三节 稳态流分析	51
第四节 加速度干扰	56
第五节 小结	58
第五章 连续交通流模型	60
第一节 守恒方程	60
第二节 动态模型	66
第三节 交通波理论	69
第四节 小结	77
第六章 宏观交通流模型	78
第一节 以 CBD 为中心的交通特性	78
第二节 一般网络模型	80
第三节 二流理论	85
第四节 二流模型与网络交通模型	88

第五节 小结	91
第七章 交通影响模型	92
第一节 交通安全	92
第二节 燃料消耗	95
第三节 道路交通废气污染	98
第四节 道路交通噪声污染	105
第五节 小结	110
第八章 无信号交叉口理论	111
第一节 理论基础	111
第二节 二路停车控制的交叉口	116
第三节 四路停车控制的交叉口	129
第四节 经验方法	130
第五节 小结	131
第九章 信号交叉口理论	132
第一节 信号交叉口的交通特性	132
第二节 稳态延误模型	139
第三节 定数延误模型	142
第四节 过渡函数延误模型	144
第五节 车辆在协调控制交叉口的延误	145
第六节 小结	148
参考文献	149

第一章 绪 论

交通流理论是研究交通流随时间和空间变化规律的模型和方法体系。多年来,交通流理论被广泛地应用于交通运输工程的许多研究领域,如交通规划、交通控制、道路与交通工程设计等,应该说交通流理论是这些研究领域的基础另论。近些年来,尤其是随着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,如控制理论、人工智能等新兴科学的思想、方法和理论已经用于解决交通运输研究中遇到的复杂问题,又如随着计算机技术的发展,模拟技术和方法越来越多地被用来描述和分析交通运输工程的某些过程或现象。

第一节 交通流理论的沿革

交通流理论的发展与道路交通运输业的发展和科学技术的发展密切相关,在交通运输业发展的不同时期和科学技术发展的不同阶段,对交通流理论的需求和研究能力都不同,因此产生了交通流理论的不同发展阶段。

按照时间顺序,交通流理论可以划分为三个阶段。

创始阶段 此阶段被界定为 20 世纪 30 年代至第二次世界大战结束。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。此阶段的代表人物为格林希尔治(Bruce D. Greenshields),其代表性成果是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关系,并对交叉口交通状态进行调查。正是由于其奠基性工作,人们常常称格林希尔治为交通流理论的鼻祖。

快速发展阶段 此阶段被界定为第二次世界大战结束至 20 世纪 50 年代末。在这一阶段,发达国家的公路和城市道路里程迅猛增长,汽车拥有量大幅度增加,此时交通规划和交通控制已经提到日程。如何科学地进行交通规划和控制,需要交通流理论提供支持。此阶段的特点是交通流理论获得高速发展,并产生了多个分支和学术上的多个代表人物。学术分支包括:车辆跟驰(car following)理论、基于流体力学的交通波理论(traffic wave theory)和排队理论(queueing theory)等。此时期造就的代表性人物有: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(Newel)、韦伯斯特(Webster)、伊迪(Edie)、佛特(Foote)、张德勒(Chandler)、赫尔曼(Herman)等。

稳步发展阶段 此阶段被界定为 1959 年以后。此阶段由于汽车的普及,交通问题已经成为世界各国大中城市越来越严重的问题,需要发展交通流理论来加以解决。正是这种需求,使交通流理论得到了稳步发展。1959 年举行了第一次国际研讨会(The First International Symposium on the Theory of Traffic Flow),并确定本次会议为三年一次的系列会议(Series of Triennial Symposia on the Theory of Traffic Flow and Transportation)的首次会议。除了这一系列会议以外,近些年来在世界各国又举行了许多交通运输领域的专题学术年会,这些年会都涉及到了交通流

理论。

按照研究手段和方法,交通流理论可划分为两类。

传统交通流理论 所谓的传统交通流理论是指以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,其明显特点是交通流模型的限制条件比较苛刻,模型推导过程比较严谨,模型的物理意义明确,如交通流分布的统计特性模型、车辆跟驰模型、交通波模型、车辆排队模型等。传统交通流理论在目前的交通流理论体系中仍居主导地位,并且在应用中相对成熟。

现代交通流理论 现代交通流理论是指以现代科学技术和方法(如模拟技术、神经网络、模糊控制等)为主要研究手段而形成的交通流理论,其特点是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,而更重视模型或方法对真实交通流的拟合效果。这类模型主要用于对复杂交通流现象的模拟、解释和预测,而使用传统交通流理论要达到这些目的就显得很困难。

传统交通流理论和现代交通流理论并不是截然分开的两种交通流理论体系,只不过是它们所采用的主要研究手段有所区别,在研究不同的问题时它们各有优缺点。在实际研究中常常是两种模型同时使用效果更好。

第二节 交通流理论研究的内容

目前,对交通流理论的定义不尽相同,但归纳各种定义的主要思想,可以给交通流理论下这样一个定义:交通流理论是研究在一定环境下交通流随时间和空间变化规律的模型和方法体系。

根据上述定义,交通流理论涉及的范围非常广泛,其研究内容很难一言以蔽之。根据美国的《交通流理论专著》(MONOGRAPH ON TRAFFIC FLOW THEORY)1975年版和1996年版的研究内容以及阿道夫·梅(May, Adolf D.)的《交通流理论》(TRAFFIC FLOW FUNDAMENTALS)1990年版研究内容,可以把交通流理论研究内容划分成如下10个部分:

(1)交通流特性(Traffic Stream Characteristics) 研究表示交通流特性的三个参数:流量、速度、密度的调查方法、分布特性及三者之间关系的模型。

(2)人的因素(Human Factors) 研究驾驶员在人、车、路、环境中的反应及其对交通行为的影响。

(3)车辆跟驰模型(Car Following Models) 研究车辆的跟驰行为、交通的稳定性和加速度干扰等数学模型。

(4)连续流模型(Continuous Flow Models) 利用流体力学理论研究交通流三个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。

(5)宏观交通流模型(Macroscopic Flow Models) 在宏观上(即在网络尺度上)研究流量、速度和密度的关系,重点研究路网不同位置(相对城市中心而言)的交通流特性(《交通流理论专著》(1996年版))。

(6)交通影响模型(Traffic Impact Models) 研究不同管制下的交通影响,包括交通安全、燃料消耗和空气质量等。

(7)无信号交叉口理论(Unsignalized Intersection Theory) 主要利用数理统计和排队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。

(8)信号交叉口交通流理论(the Theory of Traffic Flow at Signalized Intersections) 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。

(9)交通模拟(Traffic Simulation) 研究模拟技术在交通流分析中的应用,介绍交通模拟模型的种类和建模步骤。

(10)交通分配(Traffic Assignment) 研究交通分配的基本理论和方法以及这些理论和方法的应用。

上述这 10 个方面的内容是前面所提的三部专著中的主要内容,是交通流理论的经典部分,但还不是交通流理论的全部内容,近年来交通流理论发展的新内容和新方法并没有反映出来,如对实时动态交通流预测的有关理论和方法没有明确提及。这也正说明交通流理论的发展需要不断地去整理并加以系统化,将新的内容不断地补充到交通流理论体系当中来。

作为教材,本书并未涉及那些未成体系的部分,仍然以上述内容为核心,包括了上述内容的前八个部分,只是舍去了交通模拟和交通分配两部分,这两部分内容已在专门的教材中编写。

第三节 交通流理论的理论体系

关于交通流理论的专著并不多见,国内到目前为止还未见到这类专著,前面所提的三本国外专著基本上代表了目前美国经典交通流理论的内容和理论体系。就理论体系而言,《交通流理论专著》(1975 年版)不划分宏观交通流理论和微观交通流理论,而《交通流理论专著》(1996 年版)和《交通流理论》(1990 年版)划分宏观交通流理论和微观交通流理论,但这两本书中宏观和微观的含义有所不同。《交通流理论》(1990 年版)把研究个别车辆交通特性(如速度、车头时距等)的交通流理论称为微观交通流理论,把研究车队交通特性(如平均速度、密度、流量等)的交通流理论定义为宏观交通流理论。而《交通流理论专著》(1996 年版)强调宏观交通流的网络特性,只把网络交通流理论列为宏观交通流理论,而且研究内容仅限于网络平均流量、平均速度、平均密度等。

编者认为《交通流理论》(1990 年版)对交通流理论的划分存在着缺陷:第一,如果这样划分交通流理论体系,那么以网络交通流特性为研究对象的交通流理论便被排除在这一理论体系之外,这不利于对网络交通流理论进行研究;第二,所定义的宏观交通流理论和微观交通流理论从研究范围看均不属于宏观范围,因为它们所研究的是某一点或某一路段的交通特性,与网络交通特性相比不具备宏观特点;第三,从目前需求来看,城市交通规划、城市交通控制、城市交通流诱导等都迫切需要以路网为研究对象的交通流理论,原有的交通流理论已经不能满足需求,因此,必须重新确定交通流理论体系。

对于《交通流理论专著》(1996 年版),只把网络交通流理论看做宏观交通流理论,并没有说明宏观交通流理论到底包括哪些内容或具有什么特征,也没有说明什么是微观交通流,缺乏对比性,使人无法理解宏观和微观的真正含义。

根据交通流理论的定义,应该从时间和空间两个变量来认识交通流的量测尺度问题。从时间上可以把交通流划分为宏观、中观和微观,从空间上也可以把交通流划分为宏观、中观和微观。另外,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。

编者的观点是:从空间角度,把研究某一点或断面交通特性的交通流理论定义为微观交通流理论,把研究某一路段交通特性的交通流理论定义为中观交通流理论,而把研究路网交通流特性的交通流理论定义为宏观交通流理论;从时间角度,把研究较短时间范围内交通流规律的交通流理论定义为微观交通流理论,把研究较长时间范围内交通流规律的交通流理论定义为中观交通流理论,而把研究长时间范围内交通流规律的交通流理论定义为宏观交通流理论。这样,我们可以把交通流理论体系归纳如表 1-1。

交通流理论体系

表 1-1

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

对交通流理论进行上述归纳,有利于交通流理论体系的形成和促进交通流理论的发展。由于只是编者本人的观点,并未作为本书的理论体系,在此提出本观点仅供读者参考和讨论。

第四节 交通流理论研究的思想方法

真实交通流具有时间、空间两个变量,同时还受随机因素的影响,变化规律非常复杂。由于时间和空间可以无限分割,随机因素很难预测,导致不同时间和空间下的交通流状态很难相同,也就是说,精确的交通流规律很难找到。描述交通流真实状态的模型应该具备如下特点:(1)微分方程;(2)与时间和空间两个变量有关;(3)非线性;(4)随机性;(5)无穷维。这样的交通流模型实际上是无法建立的,而且由于条件的苛刻和求解的复杂性,即便是建立了这样的模型也不会有实际意义。

在实际研究中,人们不得不根据实际需要建立抽象模型,即把真实交通流模型抽象成有穷维、时不变、确定性、线性的实用模型。至于抽象的程度,主要取决于应用的目的。比如,格林希尔治在研究速度和密度的关系时认为二者是线性关系,由此建立了著名的格林希尔治 $k-u$ 线性模型。经检验,这一模型在一般密度值范围内能够表达这两个变量之间的关系,是实用的。但当密度值较大或较小时,模型的效果就明显变差,而格林伯(Greenberg)的对数模型和安德伍德(Underwood)的指数模型恰恰解决了这一问题。

交通流理论是实践性很强的理论,建立交通流模型是为了解释交通现象和解决交通问题,因此在建立交通流模型时,不能脱离实际需要而追求形式上的完整和数学上的完善。在这一过程中,应该充分重视两大环节:一是模型结构设计;二是模型参数标定。在第一个环节上,重点研究设计什么样的模型才能对所关心的交通流现象有一个很好的描述,此环节的关键是对系统的识别,也即对所研究对象的充分认识。这种认识越深刻,所建立的模型就越符合实际。在第二个环节上,重点研究如何确定模型中的参数使模型得以具体应用,参数的确定是一项非常具体、细致的工作,其好坏直接决定了模型的应用效果。

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。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。如在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。相反,有些交通流模型,结构比较复杂,应用条件比较苛刻,尽管其对某些交通流现象具有良好的解释性,但由于很难被人们接受而失去生命力或被应用的机会很少。

当然,推崇简单和适用并不等于拒绝复杂的交通流模型,实际上在研究复杂的交通流现象时简单的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。实际上,随着计算手段的改善和交通工程技术人员素质的提高,复杂交通流模型推广和应用的可能性越来越大,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。

第五节 交通流理论的发展趋势

任何理论的发展都离不开客观需求和支持其发展的客观环境。交通流理论的发展也是一样,其所处的每一个发展阶段都与相应的交通运输工程的需求和科学技术的发展水平相对应。这里,交通运输工程的需求和科学技术的发展水平是交通流理论发展的两个非常重要的条件。应该说需求是交通流理论发展的动力,没有汽车工业的发展就不会有交通流理论的产生,没有交通拥挤和交通事故剧增就不会有交通控制理论的发展,当然也不会有智能运输系统的发展,也就不会产生对实时动态交通分配理论的强烈需求。同时,科学技术为交通流理论的发展和应用创造了条件。如果没有计算机,就很难进行大规模的数据处理,也很难对复杂的模型进行计算,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证,也为交通流理论的发展提供了新的思维空间。例如,由于有了计算机,创造并发展了交通模拟技术;由于有了计算机,人们才能用人工智能理论、现代控制理论等科学技术理论和方法去认识 and 解决复杂的交通问题。除了计算机,现代的检测技术、通信技术、控制技术和卫星定位技术等也为交通流理论的发展提供了广泛的思维空间和技术保障。因此可以说,未来交通流理论的发展与交通运输工程的需要和科学技术的发展紧密相关。

根据上述理由,编者认为,基于数理统计和微积分等经典数学、物理方法的微观交通流理论已经趋于成熟,而宏观交通流理论体系尚未形成。在今后相当长的一段时间内,交通流理论研究将在如下几个方面形成热点:

从研究内容看,宏观交通流理论是未来的研究重点。理由是:第一,目前我国的城市化水平还很低,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地规划,而城市交通规划是其中的重要内容。在发达国家,由于大规模的城市规划和建设时期已经过去,交通规划理论已经不是热点研究内容,似乎这方面的理论已经成熟。实际上,这是一个错觉,发达国家有些城市的土地利用与交通不协调,有些城市出现了空心化等问题,说明原有的规划理论存在很大问题,需要改进。而在我国,大规模的城市规划和建设刚刚开始,城市交通规划必须面向未来,为了不重犯发达国家所犯过的错误,不能简单地应用原有的理论去规划未来。因此,必须从宏观协调的角度去研究 and 发展规划理论,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。第二,现代城市交通管理与控制的重点已经从微观管理(单个交叉口的管理)转移到宏观管理(城市整体协调管理),即在加强城市交叉口管理和控制的同时,更重视城市路

网总体效益的发挥,如交通面控系统追求区域整体控制效果最佳,又如交通流诱导追求在动态交通状态下车辆行驶路径最佳,等等。这些都要求以路网为研究对象的交通流理论,揭示路网点、线、面交通流特性的相互联系及交通流状态的转移规律。

从研究手段和方法来看,有两个趋势非常明显:一是利用计算机模拟技术,二是应用现代理论方法(如人工智能、神经网络、模糊控制)。利用计算机模拟技术研究交通流理论不仅可以使研究对象和结果更加形象生动,而且可以避免严格数学推导中的许多困难和问题。而应用人工智能、神经网络、模糊控制等理论,可以把那些用数学模型难于精确表达的复杂交通流现象进行快速处理和归纳,为交通控制和实时动态交通分配提供依据。

总之,交通运输工程的需求和科学技术的发展是交通流理论发展的基本条件。脱离这两个条件去研究交通流理论是不现实的,也是不可能的,撇开这两个条件去评价交通流理论是不客观的。这两个基本条件的发展变化决定了交通流理论的发展变化,读者应根据这两个条件的变化去把握交通流理论的发展前沿。

第二章 交通流特性

本章将介绍采集数据的几种基本调查方法、反映交通流特性的三个参数(流量、速度和密集度)以及这些参数之间的一些关系模型,重点介绍互不干扰交通流的特性(主要发生在高速公路和快速干道上)。研究交通流参数的变化规律及其相互关系,对研究交通流的特性、改善当前的交通状态具有重要的意义。

第一节 交通调查

在道路系统的选定点或选定路段,为了收集有关车辆(或行人)运行情况的数据而进行的调查分析工作称为交通调查。交通调查对搞好交通规划、道路设施建设和交通管理等都是十分重要的,本节将讨论以下五种调查方法。

- (1)定点调查;
- (2)小距离调查(距离少于 10m);
- (3)沿路段长度调查(路段长度至少为 500m);
- (4)浮动观测车调查;
- (5)ITS 区域调查。

调查的类型可通过图 2-1 所示的距离—时间坐标图来说明。图 2-1 中,纵坐标表示车辆在行驶方向上距离始发点(任意选定)的长度,横坐标表示时间。图中的斜线代表车辆的运行轨迹,斜率为车速,直线相交表示超车。穿过车辆运行轨迹的水平直线代表定点调查;两条非常接近的水平平行直线表示小距离调查;一条竖直直线表示沿路段长度调查(瞬时状态,例如空拍图片);车辆的轨迹之一就可代表浮动车调查。ITS 区域调查类似于在不同时间、不同地点进行大量的浮动车调查。

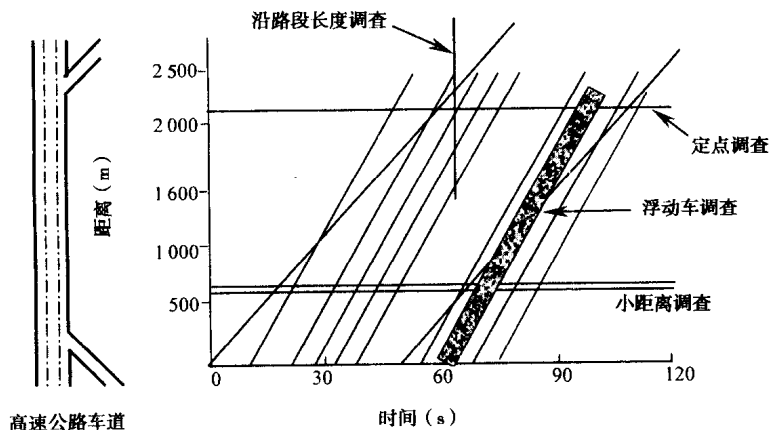


图 2-1 几种调查方法的时间—距离图示

一、定点调查

定点调查包括人工调查和机械调查两种。

人工调查方法即选定一观测点,用秒表记录经过该点的车辆数。

机械调查方法常用的有自动计数器调查、雷达调查、摄像机调查等。自动计数器调查法使用的仪器有电感式、环形线圈式、超声波式等检测仪器,它几乎适用于各种交通条件,特别是需要长期连续性调查的路段。雷达调查法适用于车速高、交通量密度不大的情况。摄像机调查法一般将摄像机安装在观测点附近的高空处,将镜头对准观测点,每隔一定的时间,如 15s、30s、45s 或 60s,自动拍照一次,根据自动拍摄的照片上车辆位置的变化,清点出不同流向的交通量。这种方法可以获得较完全的交通资料,如流量、流向、自行车流及行人流和行驶速度、车头时距及延误等。除这些方法以外,还有航空摄影调查法、光电管调查法等。

定点调查能直接得到流量、速度和车头时距的有关数据,但是无法测得密度。

二、小距离调查

这种调查使用成对的检测器(相隔 5m 或 6m)来获得流量、速度和车头时距等数据。目前常用的点式检测器,如感应线圈和微波束,都占用一定的道路空间,因此被称为小距离调查仪器。调查地点车速时,将前后相隔一定距离(如 5m)的检测器埋设地下,车辆经过两个检测器时发出信号并传送给记录仪,记录仪记录车辆通过两个检测器所使用的时间,那么用相隔的距离除以时间就得到地点车速。

这种调查方法还能得到占有率,占有率是指检测区域内车辆通过监测器的时间占观测总时间的百分比。由于占有率与检测区域的大小、检测器的性质和结构有关,因此同样的交通状态下,不同位置测得的占有率可能不同。

小距离调查同样无法测得密度,但可获得流量、速度、车头时距和占有率等数据。

三、沿路段长度调查

沿路段长度调查主要是指摄像调查法,适用于 500m 以上的较长路段。摄像调查法首先对观测路段进行连续照像,然后在所拍摄的照片上直接点数车辆数,因此这种方法是调查密度的最准确方法。但是,由于拍摄胶片的清晰度受天气情况影响较大,调查时应注意选择天气晴朗的时段。摄像调查法分为地面高点摄像法和航空摄像法。

这种方法能够测得密度,但由于调查中没有给出时间刻度,因此不能得到流量和速度。

四、浮动车调查

浮动观测车调查有两种方法,一种方法是利用浮动车记录速度和行程时间(分别作为时间和沿路段位置的函数),浮动车以车流的近似平均速度行驶。该方法无需精密的仪器就可获得大量有关高速公路车流运动的信息,但是不能获得准确的平均速度。这种方法有两种常用的形式:一种是人在车上记录速度和行程时间;另一种是使用速度计(通常用于远距离行驶的货车和公共汽车上)。

第二种方法可同时进行速度和流量的调查,该方法适用于不拥挤的道路和无自动检测仪器的郊区高速公路。这种调查方法基于观测车在道路上进行往返行驶,其计算流量和速度的公式如下:

$$q = (x + y) / (t_a + t_w) \quad (2-1)$$

$$\bar{t} = t_w - y/q \quad (2-2)$$

$$\bar{u}_s = l/\bar{t} \quad (2-3)$$

式中： q ——道路上参考方向的估计交通量；

x ——观测车沿参考方向反向行驶时遇到的车辆数；

y ——观测车沿参考方向行驶时的净超车数（即超越观测车的车辆数减去被观测车超越的车辆数）；

t_a ——车辆沿参考方向反向行驶时的行程时间；

t_w ——车辆沿参考方向行驶时的行程时间；

$\bar{t}$ ——车辆沿参考方向行驶时的平均行程时间的估计值；

l ——路段长度；

$\bar{u}_s$ ——区间平均速度。

进行调查时，驾驶员应事先固定行程时间，试验中要按照这个时间行驶，沿路段允许停车，但要保证整个行程时间与预定的时间相等。总的行程时间，根据美国国家城市运输委员会的规定，主要道路为 19min/km，次要道路为 6min/km，一般往返 12 ~ 16 次，即可得到满意的结果。另外，转弯车辆（离开和进入）会影响计算结果，因此进行这种调查所选择的路段应该尽量避免主要的进出口。

五、ITS 区域调查

智能运输系统包含诱导车辆与中枢系统的通信技术，可提供车辆的速度信息。但是，通过智能运输系统获得的车速信息，有的情况是记录点的瞬时速度，有的情况仅是车辆的标识信号（系统根据接收的相邻信号计算出车辆的行程时间），还有的情况是通过一些固定于路旁的信号发射装置（通常称为信标）向车辆发送信号，车辆接收信号进行登记，并向中枢系统返回速度和位置信息。

该方法只能提供速度信息，而无法确定车辆所在路段的流量和密度。如果配以适当的传感器，每一辆诱导车都能记录车头时距和车头间距，那么就可以通过这些数据求得流量和密度。

第二节 交通流参数

道路上的行人或运行的车辆构成行人流或车流，行人流和车流通称为交通流。没有特指时交通流一般指机动车流。交通流运行状态的定性、定量特征称为交通流特性，用以描述交通流特性的一些物理量称为交通流参数，参数的变化规律即反映了交通流的基本性质。交通流的基本参数有三个：交通流量、速度和密集度，也称为交通流三要素。常用的参数还有车头时距、车头间距等。

一、流量

流量是指在单位时间内，通过道路某一点、某一断面或某一条车道的交通实体数（对于机动车流而言就是车辆数）。流量可通过定点调查直接获得，流量和车头时距有以下关系：

$$q = \frac{N}{T} \quad (2-4)$$

式中: q ——流量(veh/h);

T ——观测时段长度;

N ——观测时段内的车辆数。

观测时段长度和车头时距有如下关系:

$$T = \sum_{i=1}^N h_i \quad (2-5)$$

式中: h_i ——第 $i-1$ 辆车与第 i 辆车的车头时距。

将式(2-5)代入式(2-4),就得到流量和平均车头时距之间的关系:

$$q = \frac{N}{T} = \frac{N}{\sum_{i=1}^N h_i} = \frac{1}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N h_i} = \frac{1}{\bar{h}} \quad (2-6)$$

式中: $\bar{h}$ ——平均车头时距。

将不足 1h 的观测时间内(如 5min、15min)观测到的交通量换算为 1h 的车辆数称为当量小时流率,简称流率,可按式计算:

$$\text{流率} = n \text{ 分钟内观测到的车辆数} \times 60/n$$

这里 n 为观测时间。

二、速度

1. 地点速度(也称为即时速度、瞬时速度)

地点速度 u 为车辆通过道路某一点时的速度,公式为:

$$u = \frac{dx}{dt} = \lim_{t_2 \rightarrow t_1} \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \quad (2-7)$$

式中 x_1 和 x_2 分别为时刻 t_1 和 t_2 的车辆位置。雷达和微波调查的速度非常接近此定义。车辆地点速度的近似值也可以通过小路段调查获得(通过间隔一定距离的感应线圈来调查)。

2. 平均速度

(1) 时间平均速度 $\bar{u}_t$, 就是观测时间内通过道路某断面所有车辆地点速度的算术平均值:

$$\bar{u}_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i \quad (2-8)$$

式中: u_i ——第 i 辆车的地点速度;

N ——观测的车辆数。

(2) 区间平均速度 $\bar{u}_s$, 有两种定义:一种定义为车辆行驶一定距离 D 与该距离对应的平均行驶时间的商:

$$\bar{u}_s = \frac{D}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i} \quad (2-9)$$

式中: t_i ——车辆 i 行驶距离 D 所用的行驶时间。

$$t_i = \frac{D}{u_i} \quad (2-10)$$

式中: u_i ——车辆 i 行驶距离 D 的行驶速度。

式(2-9)适用于交通量较小的条件,所观察的车辆应具有随机性。对式(2-9)进行如下变

形:

$$\bar{u}_s = \frac{D}{\frac{1}{N} \sum_i t_i} = \frac{D}{\frac{1}{N} \sum_i \frac{D}{u_i}} = \frac{1}{\frac{1}{N} \sum_i \frac{1}{u_i}} \quad (2-11)$$

此式表明区间平均速度是观测路段内所有车辆行驶速度的调和平均值。区间平均速度也可用行程时间和行程速度进行定义和计算。行驶时间与行程时间的区别在于行驶时间不包括车辆的停车延误时间,而行程时间包括停车时间,为车辆通过距离 D 的总时间。行驶速度和行程速度则分别为对应于行驶时间和行程时间的车速。

区间平均速度的另一种定义为某一时刻路段上所有车辆地点速度的平均值。可通过沿路段长度调查法得到:以很短时间间隔 Δt 对路段进行两次(或多次)航空摄像,据此得到所有车辆的地点速度(近似值)和区间平均速度,公式如下:

$$u_i = \frac{s_i}{\Delta t} \quad (2-12)$$

$$\bar{u}_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{s_i}{\Delta t} = \frac{1}{N \Delta t} \sum_{i=1}^N s_i \quad (2-13)$$

式中: u_i ——第 i 辆车平均速度;

Δt ——两张照片的时间间隔;

s_i ——在 Δt 间隔内,第 i 辆车行驶的距离。

研究表明,这种方法获得的速度观测值的统计分布与实际速度的分布是相同的。

(3)时间平均速度和区间平均速度的关系

对于非连续交通流,例如含有信号控制交叉口的路段或严重拥挤的高速公路上,区分这两种平均速度尤为重要,而对于自由流,区分这两种平均速度意义不大。当道路上车辆的速度变化很大时,这两种平均速度的差别非常大。时间平均速度和区间平均速度的关系如下:

$$\bar{u}_t - \bar{u}_s = \frac{\sigma_s^2}{\bar{u}_s} \quad (2-14)$$

式中: $\sigma_s^2 = \sum k_i (u_i - \bar{u}_s)^2 / K$;

k_i ——第 i 股交通流的密度;

K ——交通流的整体密度。

有关研究人员曾用实际数据对式(2-14)进行回归分析,并得到两种平均速度的如下线性关系:

$$\bar{u}_s = 1.026 \bar{u}_t - 1.890 \quad (2-15)$$

三、密集度

密集度(concentration)包括占有率和密度两种含义。

(一)占有率

占有率 o 即车辆的时间密集度,就是在一定的观测时间 T 内,车辆通过检测器时所占用的时间与观测总时间的比值。对于单个车辆来说,在检测器上花费的时间是由单个车辆的速度 u_i 、车长 l_i 和检测器本身的长度 d 决定的:

$$o = \frac{\sum_i (l_i + d) / u_i}{T} = \frac{1}{T} \sum_i \frac{l_i}{u_i} + \frac{d}{T} \sum_i \frac{1}{u_i} \quad (2-16)$$